

De Rossi, Roberto Luis

Aportes epidemiológicos para la generación de herramientas de manejo del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs)

**Tesis para la obtención del título de posgrado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

Director: Reis, Erlei Melo

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.

RESUMEN

El maíz es uno de los principales cultivos en Argentina y es considerado estratégico en el sistema agro productivo de la región centro norte de Córdoba. Su producción puede ser disminuida por diferentes enfermedades, siendo el tizón foliar común del maíz (TFC), causado por el hongo *Exserohilum turcicum*, una de las más relevantes. En este trabajo de Tesis Doctoral se estudiaron variables epidemiológicas que influyen en el desarrollo del TFC para generar herramientas de manejo integrado de este patosistema. Información de diez años de sanidad de maíz fue recopilada y estructurada en una base de datos, lo que permitió caracterizar a nivel regional que la misma es una enfermedad de amplia distribución en la región centro norte de Córdoba, presentándose todas las campañas agrícolas, siendo su intensidad influenciada por la genética de los materiales, la fecha de siembra y las condiciones ambientales predisponentes, entre ellas el fenómeno ENSO y las horas de mojado foliar. Se determinó que el TFC puede causar severos daños en el cultivo y presenta asociación negativa entre la severidad foliar y la producción, generando pérdidas económicas significativas. En ensayos de gradientes de severidades generados con fungicidas, dosis y momentos de aplicación, se obtuvieron funciones de daño que se utilizaron para determinar umbrales de daño económico que permiten tomar decisiones de control con sustento técnico. Las relaciones funcionales entre la severidad de la enfermedad y las variables ambientales duración de horas de mojado foliar, horas de secado foliar, temperaturas y eventos conducentes, permitieron predecir los daños que puede ocasionar el TFC en una amplia región y emitir una alerta mediante un modelo de predicción y un software de registro de condiciones ambientales. El análisis temporal de epidemias de TFC permitió comparar híbridos de maíz con diferentes reacciones registrando diferencias en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, severidad final y tasa de progreso de la enfermedad, siendo el modelo de Gompertz el de mejor ajuste para la descripción de estas epidemias. La escala diagramática de hoja completa y el software de entrenamiento de estimación de severidad del TFC generados, permitieron realizar estudios fitopatométricos con mayor precisión, exactitud y reproducibilidad. Es así que los trabajos realizados en esta Tesis Doctoral generaron conocimientos de diversos aspectos epidemiológicos que pretenden ser de apoyo para entender y mejorar el manejo del patosistema *E. turcicum* - *Zea mays*, procurando hacer un sistema productivo más eficiente y sustentable.

Palabras clave: helmintosporiosis, *Zea mays*, epidemiología, manejo integrado, cultivos extensivos, umbrales, modelos epidemiológicos de predicción

ABSTRACT

Corn is one of the main crops in Argentina and is considered a strategic crop in the agricultural and production system of northern Córdoba. Crop production can be reduced by different diseases, with northern corn leaf blight (NCLB), caused by the fungus *Exserohilum turcicum*, being among the most important ones. In this thesis work, epidemiological variables affecting NCLB development were studied with the aim of generating integrated management tools for this pathosystem. Information on corn health collected during 10 years was compiled and structured in a database. Thus, the disease was characterized regionally as being widely distributed in the northern central region of Córdoba, being present in all the crop seasons, and with its intensity being influenced by the genetics of hybrids, sowing date and predisposing environmental conditions, such as ENSO phenomenon and hours of leaf wetness. The results indicate that NCLB can cause severe damage to the crop and a negative association between leaf severity and production, generating significant economic losses. Assays were conducted involving disease gradients generated with fungicides, doses and application dates; the resulting damage functions were used to determine economic damage thresholds that allowed us to make technically supported control decisions. Function between disease severity and the environmental variables hours of leaf wetness, hours of leaf dryness, temperatures and predisposing events allowed us to predict damages that NCLB may cause in a large region and to issue a warning by means of a prediction model and a software of environmental condition records. Corn hybrids showing different responses to the disease were compared using a temporal analysis of NCLB epidemics. Differences in the area under the disease progress curve, final severity, and disease progress rate were recorded, with Gompertz model being the one with best fit for describing these epidemics. The diagrammatic scale of full leaf and the training software for the estimation of NCLB severity that were generated allowed us to perform phytopathometric studies with greater precision, accuracy and reproducibility. Thus, the works performed in this Doctoral Thesis generated knowledge about several epidemiological aspects that aim to be the basis for understanding and improving the management of the *E. turcicum* - *Zea mays* pathosystem, with the final goal of contributing to a more efficient and sustainable production system.

Keywords: helminthosporiosis, *Zea mays*, epidemiology, integrated management, extensive crops, thresholds, epidemiological prediction models

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APORTES EPIDEMIOLÓGICOS PARA LA GENERACIÓN DE
HERRAMIENTAS DE MANEJO DEL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL
MAÍZ (*Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS)**

ROBERTO LUIS DE ROSSI
Ing. Agr., Esp., M. Sc.

Director: Dr. Erlei Melo Reis

Comisión Revisora de Tesis: Dra. Angela Norma Formento
Dra. Cecilia Inés Bruno
Dra. María de la Paz Giménez Pecci
Dra. María Gabriela Molina

Tesis presentada al programa de pos graduación en Ciencias Agropecuarias de la Facultad Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba, para acceder al grado académico de Doctor en Ciencias Agropecuarias.

Córdoba, 2020.

Dedicada a mi viejo, el pa, el pelado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todo lo que tengo y por la constante presencia.

A toda mi gran y querida familia.

A mi esposa, Evangelina por el amor, paciencia, comprensión y por acompañarme en la vida.

A mis hijos, Guillermina, María Josefina y Juan Martín, por ser lo más importante que me pasó y por ser la constante alegría de mi vida.

A mis padres, Roberto y Marisa, por el ejemplo de personas, por la dedicación, fuerza, apoyo y amor entregado.

A mis hermanos Sol, Cari, Pachi y Juan por estar a mi lado siempre.

A mis amigos, por alegrar el día a día.

A mis colegas y amigos del Laboratorio de Fitopatología: Gustavo, Cristina, Elsa, Nathalie, Ezequiel y en especial a Fernando y Martín, por la confianza, soporte, enseñanzas y gran amistad.

A mi Director, Erlei, por la orientación, incentivo y permanente enseñanza.

A la comisión de revisión de tesis, por sus sugerencias y colaboración.

A la Universidad Católica de Córdoba, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y al Doctorado en Ciencias Agropecuarias por la ayuda y dedicación.

A Alejandro Palazzolo y a Gustavo Luppi, y en su nombre a la empresa Intruder Agro, por su colaboración en los Capítulos III y V.

A Federico Larrosa y a la empresa KWS por su colaboración en Capítulo IV.

A Celeste Gregoret, a Diego Lopez y Pablo Solfanelli por la colaboración en el análisis de la información generada.

Y a todas las personas que, por estar, ayudar, o preguntar, contribuyeron a mi formación profesional y personal.

¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice General	viii
Lista de Tablas	xi
Lista de Figuras	xiv
Lista de Abreviaturas	xvii
Introducción general	21
Objetivos	21
Hipótesis	21
Organización de la tesis	21

REVISIÓN DE LITERATURA

1. El maíz	22
2. La producción de maíz en la República Argentina y en Provincia de Córdoba	23
3. El tizón foliar común del maíz	24
3.1 Historia	24
3.2 Sintomatología	25
3.3 Ocurrencia y distribución	28
3.4 Daños y pérdidas	28
3.5 Etiología y taxonomía	32
3.6 Medios de cultivo	34
3.7 Epidemiología	35
3.7.1 Ciclo de la enfermedad	35
3.7.2 Condiciones ambientales predisponentes	36
3.7.3 Infección	38
3.7.4 Sobrevivencia	39
3.7.5 Hospedantes	40
3.7.6 Diseminación	40
3.7.7 Manejo agronómico del cultivo de maíz en presencia del TFC	41
3.7.7.1 Razas - Resistencia	41
3.7.7.2 Toxinas y enzimas	46
3.7.7.3 Fungitoxicidad de fungicidas <i>in vitro</i>	47
3.7.7.4 Eficiencia de fungicidas a campo	47
3.7.7.5 Control biológico	48
3.7.7.6 Manejo integrado	49
4. Bibliografía - Introducción y Revisión de Literatura	49

CAPÍTULO I

Generación de una base de datos de sanidad de maíz y caracterización de la ocurrencia, distribución e importancia del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs en el centro norte de Córdoba	67
---	----

RESUMEN	68
---------------	----

ABSTRACT	69
----------------	----

1. INTRODUCCIÓN	70
-----------------------	----

2. MATERIAL Y MÉTODOS	72
-----------------------------	----

2.1 Recopilación de información de sanidad de cultivo de maíz	72
---	----

2.2 Generación de una base de datos y de una matriz epidemiológica	73
--	----

2.3 Análisis de datos	73
-----------------------------	----

2.3.1 Ocurrencia	74
------------------------	----

2.3.1.1 Campañas, ensayos y severidades finales	74
---	----

2.3.1.2 Comportamiento sanitario de híbridos	74
--	----

2.3.1.3 Variables de manejo agronómico	75
--	----

2.3.1.4 Fechas de siembras	75
----------------------------------	----

2.3.2 Distribución	76
--------------------------	----

2.3.3 Importancia	76
-------------------------	----

2.3.3.1 Daños y pérdidas	76
--------------------------------	----

2.3.3.2 Utilización de fungicidas y control	77
---	----

2.3.4 Selección y evaluación de la severidad final	77
--	----

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
---------------------------------	----

3.1 Recopilación de información y generación de base de datos y matriz epidemiológica	78
---	----

3.2 Análisis de datos	79
-----------------------------	----

3.2.1 Ocurrencia y severidades finales	79
--	----

3.2.1.1 Comportamiento sanitario	81
--	----

3.2.1.2 Variables de manejo agronómico	82
--	----

3.2.1.3 Fecha de siembra	84
--------------------------------	----

3.2.2 Distribución	87
3.2.3 Importancia	90
3.2.3.1 Daños (kg ha ⁻¹ , %)	90
3.2.3.2 Pérdidas (USD ha ⁻¹ , %)	92
3.2.4 Utilización de fungicidas y control	95
4. CONCLUSIONES	98
5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo I	98

CAPÍTULO II

Estimación del daño y determinación de umbrales de daño económico para el patosistema <i>Exserohilum turcicum</i> - <i>Zea mays</i>	103
RESUMEN	104
ABSTRACT	105
1. INTRODUCCIÓN	106
2. MATERIAL Y MÉTODOS	108
2.1 Evaluación de la enfermedad	109
2.2 Rendimiento	109
2.3 Modelos de daños, UDE y UDA	112
2.3.1 Relación de variables	113
2.4 Pérdidas económicas	113
2.5 Análisis estadístico	113
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	113
3.1 Evaluación de la enfermedad	113
3.2 Relación de variables	114
3.3 Daños y funciones de daño	116
3.4 Umbral de daño económico (UDE) y umbral de acción (UDA)	119
3.5 Pérdidas	119
4. DISCUSIÓN	122
5. CONCLUSIONES	126
6. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo II	127

CAPÍTULO III

Modelado de la severidad del tizón foliar común del maíz causado por <i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs en relación con las condiciones ambientales registradas a nivel de sitio	133
RESUMEN	134
ABSTRACT	135
1. INTRODUCCIÓN	136
2. MATERIAL Y MÉTODOS	139
2.1. Datos	139
2.1.1 Registros de enfermedad	139
2.1.2 Registros meteorológicos	140
2.2 Modelado de datos epidemiológicos	141
2.2.1 Severidad	141
2.2.2 Variables meteorológicas	141
2.3 Software para estudio del desarrollo de enfermedades en tiempo real	143
2.4 Análisis de datos	144
3. RESULTADOS	144
3.1 Descripción a escala regional	144
3.2 Modelado	146
3.3 Desarrollo de software	154
4. DISCUSIÓN	155
5. CONCLUSIONES	158
6. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo III	158

CAPÍTULO IV

Análisis temporal de epidemias del tizón foliar común del maíz causado por <i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs	163
RESUMEN	164
ABSTRACT	165
1. INTRODUCCIÓN	166
2. MATERIAL Y MÉTODOS	168
2.1 Ensayos	168
2.2 Evaluaciones	169
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	171
4. CONCLUSIONES	179
5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo IV	179

CAPÍTULO V

Escala diagramática de hoja completa y software de entrenamiento para la estimación de la severidad foliar causada por el tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs)	182
--	-----

RESUMEN	183
----------------------	-----

ABSTRACT	184
-----------------------	-----

1. INTRODUCCIÓN	185
------------------------------	-----

2. MATERIAL Y MÉTODOS	187
------------------------------------	-----

2.1 Escala diagramática	187
-------------------------------	-----

2.2 Software de entrenamiento de estimación de severidad	189
--	-----

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	190
--	-----

3.1 Escala diagramática	190
-------------------------------	-----

3.2 Software de entrenamiento para estimación de severidad	202
--	-----

3.3 Validación	204
----------------------	-----

4. CONCLUSIONES	205
------------------------------	-----

5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo V	205
---	-----

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	211
---	-----

Discusión general	211
-------------------------	-----

Conclusiones generales	219
------------------------------	-----

Líneas de investigación a futuro	220
--	-----

Bibliografía - Discusiones y conclusiones generales	221
---	-----

Curriculum Vitae resumido	225
--	-----

Publicaciones realizadas	226
---------------------------------------	-----

LISTA DE TABLAS

	Página
REVISIÓN DE LITERATURA	
Tabla 1. Daños, pérdidas y severidades según distintos autores ocasionados por el tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i>	31
Tabla 2. Caracterización morfológica, según distintos autores, de conidios de <i>Exserohilum turcicum</i>	32
Tabla 3. Condiciones ambientales predisponentes, según distintos autores, para el desarrollo del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i>	38
Tabla 4. Interacción gen a gen entre el patógeno <i>Exserohilum turcicum</i> y hospedante <i>Zea mays</i> para el desarrollo del tizón foliar común del maíz. Fuente: Welz (1998)	42
Tabla 5. Escala de campo para la evaluación del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) utilizada en programas de mejoramiento de poblaciones de maíz. Fuente: adaptado de Humi <i>et al.</i> (2015)	45
CAPÍTULO I	
Tabla 1. Variables, unidades y detalle/rango explorado, de la matriz de datos generada en híbridos de maíz de la región centro norte de Córdoba, durante diez campañas agrícolas para el manejo del tizón foliar común (TFC), causado por <i>Exserohilum turcicum</i>	74
Tabla 2. Comportamiento sanitario de los híbridos de maíz frente al tizón foliar común, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , con reacción resistente (R), moderadamente resistente (MR), susceptible (S) y moderadamente susceptible (MS) expresada en porcentajes (%), en la región centro norte de Córdoba, desde 2007-08 a 2016-17	81
Tabla 3. Análisis de la varianza de variables de manejo agronómico relacionadas al desarrollo del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) y aporte a la variabilidad registrada en árbol de clasificación de regresiones.	83
Tabla 4. Daños registrados por tizón foliar común (TFC) del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) desde 2007-08 a 2016-17, en el centro norte de Córdoba	91
Tabla 5. Pérdidas económicas registradas por el tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) evaluados desde 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba, con un precio promedio de maíz de 112 USD ha ⁻¹	93
Tabla 6. Respuesta económica positiva, nula o negativa (expresada en porcentaje de casos) por aplicación aérea de fungicida mezcla de triazol y estrobilurina para el control del tizón común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), registradas en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) evaluados desde 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba. Materiales agrupados en susceptibles y moderadamente susceptibles (S-MS), resistentes y moderadamente resistentes (R-MR) y materiales que registraron severidades finales mayores al 1,5 % (SF ≥ 1,5 %)	93
Tabla 7. Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con utilización de fungicidas, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), según el estado fenológico del cultivo al momento de la aplicación	96
Tabla 8. Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con una sola aplicación de fungicida, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), según la severidad promedio (%) al momento de la aplicación...	96
CAPÍTULO II	
Tabla 1. Ensayos realizados para la generación de gradientes de enfermedad del tizón común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	110
Tabla 2. Función de daño, pendiente (b), constante (a), coeficiente de determinación, nivel de significancia, función de daño ajustada a una tonelada de producción, severidad en testigo y daño (kg ha ⁻¹) por tonelada producida, en 16 ensayos con tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en la región centro norte de Córdoba, en híbridos susceptibles (S) y moderadamente susceptibles (MS)	117

Tabla 3.	Función de daño ajustada a t de producción, coeficiente de daño, producción potencial esperada ($t\ ha^{-1}$), coeficiente de daño ajustado a la producción esperada, costo de control (fungicida mezcla triazol + estrobilurina, incluye aplicación aérea) ($USD\ ha^{-1}$), precio de la tonelada de maíz ($USD\ t^{-1}$), eficiencia de control, umbral de daño económico (UDE) y umbral de daño de acción (UDA), para un cultivo de maíz de $8,5\ t\ ha^{-1}$ de producción potencial, a $112\ USD\ t^{-1}$, $30\ USD\ ha^{-1}$ de costo de control, con una eficiencia de control del 70 % del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	120
Tabla 4.	Pérdidas económicas ($USD\ ha^{-1}$) causadas por el tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en 16 ensayos en el centro norte de Córdoba, equiparadas para un cultivo de maíz de $8,5\ t\ ha^{-1}$ de producción, cuyo precio neto de referencia es de $112\ USD\ t^{-1}$	121

CAPÍTULO III

Tabla 1.	Variables ambientales analizadas para la generación de un modelo de predicción de desarrollo de la severidad foliar del tizón común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	142
Tabla 2.	Coeficientes de determinación (R^2) máximos obtenidos para cada híbrido entre las variables Eventos Conducentes (EC), Horas de mojado foliar (HMF) y Horas de secado foliar (HSF) con el logaritmo natural (\ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en materiales resistentes (R) y moderadamente resistentes (MR)	149
Tabla 3.	Coeficientes de determinación (R^2) máximos obtenidos para cada híbrido entre las variables Eventos Conducentes (EC), Horas de mojado foliar (HMF) y Horas de secado foliar (HSF) con el logaritmo natural (\ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en materiales susceptibles (S) y moderadamente susceptibles (MS)	149
Tabla 4.	Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica eventos conducentes (EC) y el logaritmo natural (\ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4..	150
Tabla 5.	Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica horas de mojado foliar (HMF) y el logaritmo natural (\ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4..	151
Tabla 6.	Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica horas de secado foliar (HSF) y el logaritmo natural (\ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4..	152
Tabla 7.	Desarrollo de severidades (%) de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), diferenciados por su reacción frente a la enfermedad, cuando alcanzaron 7 y 12 días con eventos conducentes (EC), y su diferencia	153

CAPÍTULO IV

Tabla 1.	Ensayos realizados en el centro norte de Córdoba, para la caracterización de variables epidemiológicas descriptivas temporales del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), durante la campaña 2015-16	168
Tabla 2.	Severidad final (SF) y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de híbridos de maíz con reacción R, MR, MS y S frente al tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en el centro norte de Córdoba, durante la campaña 2015-16	172
Tabla 3.	Análisis de regresión no lineal para los modelos Logístico y Gompertz para la severidad del tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>), en la campaña 2015/16, en las localidades de Ballesteros, Villa María y Jesús María, del centro norte de Córdoba, en cuatro híbridos con distinta reacción frente a la enfermedad (R, MR, MS y S)	178

CAPÍTULO V

Tabla 1.	Límite inferior (L.I.), punto medio (P.M.) y límite superior (L.S.) para cada nivel de severidad foliar del tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) obtenidos con el programa DOSLOG	193
Tabla 2.	Coeficientes estimados para la ordenada al origen (a) y para la pendiente (b), coeficientes de determinación (R^2) de las regresiones lineales de datos de severidad instrumental (variable dependiente) y estimada por	195

	observación visual de un observador humano (variable independiente) del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), según evaluadores sin experiencia (B a J) y con experiencia (A), con y sin utilización de la escala diagramática	
Tabla 3.	Coeficientes de determinación (R^2) de la ecuación de regresión lineal simple de la severidad estimada de tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) por diez evaluadores, combinados de a pares, con y sin el uso de la escala diagramática	200
Tabla 4.	Características morfométricas de 250 hojas de maíz seleccionadas para cuantificar la severidad causada por el tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	200
Tabla 5.	Número, ancho y largo (mm) de lesiones, que representan una severidad foliar de 1 %, causada por el tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en hojas de un tamaño promedio de 81,1 por 8,4 cm	201
Tabla 6.	Coeficientes de determinación (R^2) entre valores de severidad reales y estimados de 20 evaluadores que validaron el uso del software de entrenamiento de estimación visual de la severidad de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	204

LISTA DE FIGURAS

REVISIÓN DE LITERATURA	Página
Figura 1. Descripción en imágenes de la evolución de la planta y la espiga del maíz desde el teosinte (a) hasta híbrido actual (c), pasando por un híbrido primitivo (b). Fuente: Paliwall et al. (2001)	23
Figura 2. Participación porcentual de distintos países y la Unión Europea en la producción mundial de maíz. Fuente: USDA-FAS, 2019	24
Figura 3. Síntomas de lesiones foliares iniciales (a) y avanzadas (b) del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> . Las lesiones iniciales comienzan a manifestarse sobre la lámina foliar en forma elíptica alargada, con cambios de color verde al grisáceo, mientras las lesiones avanzadas presentan mayor tamaño y son de color pardo/amarronado, tornándose grisáceas cuando el patógeno esporula	26
Figura 4. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en genotipo susceptible (a) y resistente (b). Las lesiones en un material susceptible presentan formato típico, elípticas/alargadas de color pardo/amarronadas; mientras que en un material con resistencia presentan halos amarillentos, o blanquecinos y menor tamaño, así como menor esporulación	26
Figura 5. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en un lote con un híbrido susceptible, en la localidad de Piquillín, Córdoba, año 2015. Hojas del tercio inferior y medio de la planta completamente necrosadas por la enfermedad	27
Figura 6. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en un híbrido susceptible, en las hojas de mayor importancia para la generación del rendimiento del cultivo (hojas alrededor de la espiga), en la localidad de Piquillín, Córdoba, año 2015	27
Figura 7. a) Conidios y conidióforo de <i>Exserohilum turcicum</i> (a). Fuente: Ellis (1971). Ascas, ascosporos y peritecio de <i>Setosphaeria turcica</i> (b). Fuente: Sivanesan (1987)	34
Figura 8. Conidio (a), conidióforos (b) y clamidósporas (c) de <i>Exserohilum turcicum</i>	34
Figura 9. Ciclo del tizón foliar común del maíz, causado por el hongo <i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs	36
Figura 10. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> en hojas de la espiga (he), he+1 y he-1, de tres híbridos de diferente reacción: resistente(R), moderadamente resistente (MR) y susceptible(S), en Villa María, Córdoba	43
CAPÍTULO I	
Figura 1. Localidades de la región centro norte de Córdoba y mapa de Argentina donde se generó la información sanitaria del cultivo de maíz, por el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica de Córdoba desde 2007-08 a 2016-17	72
Figura 2. Campañas, localidades, semilleros e híbridos que participaron en las evaluaciones y número de ensayos realizados y ordenados en la base de datos de Sanidad de Maíz	78
Figura 3. Severidades finales (%) del tizón foliar común, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en 86 ensayos de maíz, entre 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba (años de alta presión se destacan con color)	79
Figura 4. Distribución del número de ensayos con diferentes intensidades de tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) (izquierda) y porcentaje de los casos con enfermedad con diferentes niveles de la misma (derecha) registrados en la matriz epidemiológica Sanidad de Maíz	80
Figura 5. Porcentajes (%) de híbridos de maíz con reacción resistente (R), moderadamente resistente (MR), susceptible (S) y moderadamente susceptible (MS) frente al tizón foliar común, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en ensayos comparativos de rendimiento en la región centro norte de Córdoba desde 2007-08 a 2016-17	82
Figura 6. Árbol de clasificación de variables de manejo agronómico para grados de severidad final de tizón foliar común, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , para el centro norte de Córdoba. Severidad (%) en el estado fenológico de grano pastoso (R4), utilizada como variable respuesta y categorizada en grados: 1) severidades menores al 1 %, 2) severidades entre 1,1 y 5 %, 3) severidades entre 5,1 y 15 % y 4) severidades mayores al 15 %. Variable Genética: R =	84

	resistente, MR = moderadamente resistente, S = susceptible y MS = moderadamente susceptible. Variable Fase ENSO: año niño, niña y neutro. Variable fecha de siembra: FS temprana (<20/12) y FS tardía (>20/12)	
Figura 7.	Severidades finales de tizón foliar común, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en 86 ensayos de maíz, distribuidos en el tiempo (décadas de mes), durante las campañas 2007-08 a 2016-17, en el centro norte de Córdoba	85
Figura 8.	Distribución empírica de las severidades finales registradas en tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) para el centro norte de Córdoba, diferenciado por fecha de siembra (FS) = antes y después del 20/12	85
Figura 9.	Distribución por regiones de las severidades finales registradas en tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en el centro norte de Córdoba, desde la campaña 2007-08 a 2016-17	88
Figura 10.	Distribución por regiones de las severidades finales registradas por el tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en el centro norte de Córdoba, diferenciado por fase ENSO, en las campañas 2007-08 a 2016-17	89
Figura 11.	Distribución empírica de las severidades registradas en tizón foliar común del maíz, causado por <i>Exserohilum turcicum</i> , en el centro norte de Córdoba, diferenciado por fase ENSO, en las campañas 2007-08 a 2016-17	89
Figura 12.	Rendimiento (kg ha ⁻¹) en híbridos de maíz con diferentes reacciones frente al tizón común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), S = susceptible, MS = moderadamente susceptible, MR = moderadamente resistente y R = resistente, en testigos o sin aplicación de fungicida (barras vacías), tratados o con aplicación de fungicida mezcla de triazol + estrobilurina (barras texturadas) y diferencia entre ellos en kg ha ⁻¹ (barras llenas), en diez campañas en el centro norte de Córdoba. Barras verticales indican error estándar	92
Figura 13.	Respuestas económicas (USD ha ⁻¹) por aplicación aérea de fungicida mezcla de triazol y estrobilurina para el control del tizón común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en híbridos de maíz susceptibles y moderadamente susceptibles (A), resistentes y moderadamente resistentes (B), y en híbridos con severidades finales mayores al 1,5 %. Línea punteada indica costo de control (30 USD ha ⁻¹)	94
Figura 14.	Evolución de la utilización de fungicidas para el control de enfermedades en el cultivo de maíz, expresado en porcentaje (%), en la región centro norte de Córdoba, y objetivo principal de control: roya común (Rc) o tizón foliar común (TFC). Fuente: CREA región Norte de Córdoba y Grupo Río Seco, representando 8947 campos y 651 808 hectáreas. Se destacan con flechas de color las campañas con alta presión de TFC	95
Figura 15.	Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con una sola aplicación de fungicida, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), según la severidad promedio (S %) al momento de la aplicación, en 47 ensayos en el centro norte de Córdoba	97

CAPÍTULO II

Figura 1.	Severidades finales de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), en los testigos de 16 ensayos para determinar umbrales de daño económico. Barras rellenas: materiales susceptibles (S), barras vacías: materiales moderadamente susceptibles (MS)	114
Figura 2.	Regresiones entre la severidad final (%) y la producción (kg ha ⁻¹) para la generación de funciones de daño de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en materiales susceptibles (S)	115
Figura 3.	Regresiones entre la severidad final (%) y la producción (kg ha ⁻¹) para la generación de funciones de daño de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en materiales moderadamente susceptibles (MS)	116

CAPÍTULO III

Figura 1.	Diagrama conceptual de la influencia de las prácticas agronómicas en el desarrollo de enfermedades en el cultivo de maíz	138
Figura 2.	Diagrama de 15 períodos de 20 días con superposición, para correlacionar variables ambientales con el logaritmo natural (ln) de la severidad de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	143
Figura 3.	Acumulación de horas de mojado foliar (HMF) (izq.) y acumulación de horas de secado foliar (HSF) (der.), el centro norte de Córdoba, diferenciados por fase del fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO)	145

Figura 4.	Precipitación pluvial (mm) acumulada por mes en la provincia de Córdoba, mapas diferenciados por mes y por fase del fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO)	146
Figura 5.	Relaciones entre el logaritmo natural de la severidad de tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) y las variables ambientales i) número de eventos conducentes en 20 días, ii) número de horas de mojado foliar y iii) horas de secado foliar, según el comportamiento sanitario del cultivo de maíz frente a tizón foliar común (resistente, moderadamente resistente, moderadamente susceptible, susceptible), de una selección de diez casos de cada comportamiento sanitario (genética)	147
Figura 6.	Dinámica del coeficiente de determinación (R^2), en ocho períodos con superposición, de variables ambientales en el desarrollo de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en un híbrido susceptible. Acumulación de días con más de ocho horas de mojado foliar (>8 HMF, HMF = HR \geq 80 %) en línea continua y acumulación de temperaturas mayores a las 18 °C (T > 18°C) en línea discontinua	148
Figura 7.	Relaciones entre el logaritmo natural (ln) de la severidad de tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) y las variables ambientales i) número de eventos conducentes, ii) número de horas de mojado foliar y iii) horas de secado foliar, diferenciadas por la reacción i) híbrido resistente y ii) híbrido susceptible	154
Figura 8.	Visualización de resultados del software desarrollado para el seguimiento y alerta de desarrollo del tizón común foliar del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) y otras enfermedades foliares del cultivo	155

CAPÍTULO IV

Figura 1.	Severidad final (%) y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) del tizón foliar común (TFC) del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en el centro norte de Córdoba durante, la campaña 2015-16, en cuatro híbridos con distinta reacción frente al TFC (resistente = R, moderadamente resistente = MR, susceptible = S y moderadamente susceptible = MS). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, Test Tuckey (0,05). Intervalos sobre cada valor representa el error estándar	173
Figura 2.	Curvas de progreso de la enfermedad (CPE), y curvas de de la tasa de progreso en el tiempo (dy/dt) del tizón foliar común (TFC) del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en seis localidades del centro norte de Córdoba, durante la campaña 2015-16, en cuatro híbridos con distinta reacción frente al TFC (resistente = R, moderadamente resistente = MR, susceptible = S y moderadamente susceptible = MS)	176

CAPÍTULO V

Figura 1.	Escala diagramática de imagen de hoja completa a color y esquemática para la estimación visual de la severidad del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>), se detalla en cada clase el límite inferior (L.I.), punto medio (P.M.) y límite superior (L.S.)	191
Figura 2.	Residuos (severidad estimada - severidad real) de las estimaciones de la severidad de tizón foliar común (<i>Exserohilum turcicum</i>) realizadas sin (A) o con escala (B)	196
Figura 3.	Relación entre la severidad estimada visualmente por los observadores humanos y la severidad real o instrumental (izq.) y residuos (severidad predicha - severidad observada) (der.) por diez evaluadores (A - J) sin y con ayuda de la escala diagramática. Línea punteada: severidad estimada sin ayuda de la escala. Línea continua: severidad estimada con ayuda de la escala. Puntos vacíos: obtenidos sin ayuda de la escala. Puntos llenos: obtenidos con ayuda de la misma	197
Figura 4.	Regresión entre la severidad real (%) y el número de lesiones o manchas (n°L) por hoja en las 250 hojas evaluadas con síntomas del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>)	201
Figura 5.	Regresión entre la severidad real (%) y el número de lesiones (n°L) por hoja del tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) en las hojas con hasta 8 % de severidad y menos de 8 lesiones	202
Figura 6.	Imagen de la pantalla del software durante el proceso de estimación visual de la severidad de tizón foliar común del maíz (<i>Exserohilum turcicum</i>) presente en la hoja visualizada en el programa	203

LISTA DE ABREVIATURAS

TFC	tizón foliar común del maíz
<i>Et</i>	<i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) Leonard & Suggs
R	resistente
MR	moderadamente resistente
S	susceptible
MS	moderadamente susceptible
ECR	ensayo comparativo de rendimiento
Cd	coeficiente de daño
Cda	coeficiente de daño ajustado a la producción esperada
UDE	umbral de daño económico
UDA	umbral de acción
Cc	costo de control
USD ha ⁻¹	dólares por hectárea
USD t ⁻¹	dólares por tonelada
t ha ⁻¹	tonelada por hectárea
mL ha ⁻¹	mililitro por hectárea
Sev	severidad
SF	severidad final
ABCPE	área bajo la curva de progreso de la enfermedad
ENSO	fenómeno El Niño Oscilación del Sur
h	hora
t	tonelada
%	porcentaje
°C	grados Celcius
HMF	horas de mojado foliar
HSF	horas de secado foliar
mm	milímetro
T	temperatura
cm	centímetro
m ²	metro cuadrado
kg ha ⁻¹	kilogramos por hectarea
ha	hectárea
kg	kilogramo
n°L	número de lesiones
n°	número

INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos, siendo considerado como una de los cinco principales cultivos de cereales en el mundo, junto con arroz, trigo, cebada y sorgo (FAO, 2019). Es un cultivo estratégico para Argentina, durante la campaña 2018-19 se sembraron más de 6 millones de hectáreas, según el informe de cierre de campaña de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBA, 2019), generando 48 millones de toneladas, con un promedio nacional de 8280 kg ha⁻¹ de producción, lo cual significó una contribución al Producto Bruto Interno (PBI) de Argentina de más de 10 mil millones de dólares. El centro norte de Córdoba fue la región argentina que sembró la mayor superficie en la campaña 2018-19, 870 000 hectáreas. Considerando a las regiones centro y sur, la provincia de Córdoba se posicionó como la de mayor producción nacional, y la octava en orden internacional (BCBA, 2019).

En los últimos años se ha registrado en Argentina un aumento en la presencia, desarrollo e importancia de las enfermedades en el cultivo de maíz, generando preocupación a productores, técnicos e investigadores (De Rossi & Couretot, 2013; De Rossi, *et al.*, 2016). La dinámica de estas enfermedades tiene una estrecha relación con la manera en que ha evolucionado el sistema productivo del cultivo en Argentina. Es decir, modificaciones en el sistema de producción, que se realizan procurando obtener estabilidad y aumento de la productividad, también son causantes de variaciones registradas en las enfermedades (Teyssandier, 2005).

Algunas de las prácticas agronómicas que tienen mayor influencia en el desarrollo de las enfermedades en el cultivo de maíz, son: i) adopción generalizada de la siembra directa, ii) altas proporciones de maíz en las rotaciones (en algunas regiones, monocultivo), iii) adopción masiva de fechas de siembras tardías en la mayoría de las zonas productoras del país, iv) genética, elección de materiales según el potencial y la estabilidad de rendimiento, sin atender el comportamiento sanitario, v) aumento de la adopción de materiales templados (más sensibles a enfermedades) sobre tropicales o cruza en las regiones cálidas del país, con la consecuente siembra de híbridos no seleccionados genéticamente para zonas específicas, vi) generación de “puentes verdes” por la ampliación de áreas y fechas en las que se siembra maíz y/o presencia de plantas voluntarias (“guachas”), vii) escaso uso de fertilización en maíces de fechas tardías y viii) baja adopción del monitoreo en el cultivo.

El cultivo de maíz es afectado por diversas enfermedades foliares, las cuales pueden causar daños significativos en el rendimiento y en la calidad de los granos. Dentro de ellas el tizón foliar común (TFC) causado por *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs (sinon. *Helminthosporium turcicum* Pass.); teleomorfo: *Setosphaeria turcica* (Lutterell) (sinon. *Trichometasphaeria turcica* Lutterell Leonard & Suggs), es una de las principales

enfermedades foliares (Frederiksen, 1991). El TFC afecta áreas de cultivo a nivel mundial, tanto en el hemisferio norte y como en el sur. Se han reportado epidemias en la mayoría de las regiones productoras de maíz del mundo (Lipps, 1997; Harlapur, 2005; Tenuta & Zhu, 2012; Bergstrom, 2014; Wise, 2015; Culqui Recalde, 2015). El mismo, puede causar graves reducciones del área foliar sana durante el período de llenado de granos, de 50 % o más en materiales susceptibles (Perkins & Pedersen, 1987). En Brasil, el TFC es la helmintosporiosis más común de las que ocurre en el cultivo de maíz, y en algunos híbridos y localidades asume un papel de tal relevancia que hace tener en cuenta su manejo específico para lograr una producción sustentable (Frosi & Balmer, 1980; Kamikoga *et al.*, 1991; Quezado-Soares & Lopes, 1993; Pereira, 1995; Pinto, 1997).

En Argentina, el TFC se consideró una enfermedad difundida en todas las áreas cultivadas con maíz desde 1969, constituyendo un grave problema en regiones tradicionales del cultivo, pero sus daños fueron más graves en el noroeste y noreste del país (Idia, 1969). A partir de la campaña 2007-08, se manifestó todos los años, presentado severidades que variaron de acuerdo a la respuesta genética de los materiales. En el año 2010, Guerra & De Rossi, registraron que el TFC fue la enfermedad de mayor prevalencia (>90 %) en el centro norte de Córdoba. Esta situación también se registró en Entre Ríos (Formento, 2010), Buenos Aires (Couretot *et al.* 2011, 2014) y Santa Fe (Sillón, 2013).

El método más económico y seguro de manejo de enfermedades es el uso de cultivares resistentes. Sin embargo, no siempre los factores de resistencia en el germoplasma disponible son suficientes o, cuando existen, el material no posee resistencia múltiple a las principales enfermedades que ocurren en una región determinada. Es por ello que el manejo de enfermedades implica el uso del conocimiento existente sobre el medio ambiente, el hospedante (grado de resistencia), las enfermedades frecuentes en la región y las técnicas alternativas para el manejo (Cia & Fuzatto, 1999). Existe información sobre el uso de genotipos resistentes y tolerantes, uso de fungicidas, rotación de cultivos y eliminación de hospedantes secundarios para el manejo del TFC (Forcelini & Reis, 1997; Romero, 2016; Munkvold & White, 2016). Sin embargo, ninguna de estas medidas es efectiva si se utiliza de manera aislada a nivel de campo, siendo necesario integrarlas para ser más eficientes. Dentro de las diversas áreas de la fitopatología, la epidemiología se destaca por ser la responsable de analizar los efectos y la importancia de diversas variables para describir y entender la dinámica de epidemias de enfermedades de plantas (Kranz, 1990). Es así, que la mayoría de las estrategias de manejo con resultados eficientes para el manejo de enfermedades son aquellas diseñadas a partir de los conocimientos generados en estudios epidemiológicos (March *et al.*, 2012).

El entendimiento de los procesos relacionados al desarrollo de enfermedades de plantas está fuertemente ligado al conocimiento de las poblaciones de patógenos y de

hospedantes, así como los factores del ambiente y las interacciones resultantes (Vale *et al.*, 2004). La descripción de las epidemias de plantas, proporciona abundante y valiosa información relacionada con la cantidad y eficiencia del inóculo inicial, los efectos del ambiente, la resistencia del hospedante, el tiempo de interacción entre el hospedante y el patógeno, los sistemas de predicción y la efectividad de las estrategias de manejo de la enfermedad (Achicanoy, 2000). La cuantificación de la intensidad de una enfermedad es tan importante para la fitopatología como su correcto diagnóstico. Sin cuantificar una enfermedad, ningún estudio en epidemiología o sus aplicaciones sería posible (Kranz, 1988). Dada la relevancia del TFC, se requieren metodologías estandarizadas de cuantificación de los daños y pérdidas ocasionados, que permitan realizar estudios epidemiológicos reproducibles.

Es por ello que el conocimiento de variables epidemiológicas que influyen en el desarrollo del TFC causado por *E. turcicum*, es clave para desarrollar herramientas más eficientes e integradas para su manejo. Al momento, son escasos los antecedentes en la Argentina relacionados a la profundización del conocimiento epidemiológico de este patosistema. Por lo expuesto, en este trabajo de tesis se propuso: i) caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del TFC en el centro norte de Córdoba generando una base de datos, ii) cuantificar los daños y determinar umbrales de daño económico para el manejo del TFC, iii) estudiar la variación de la severidad del TFC en relación a condiciones ambientales registradas a nivel de sitio, iv) evaluar temporalmente epidemias de TFC comparando híbridos con diferentes reacciones y v) desarrollar y validar una escala diagramática para la evaluación de la severidad foliar. Los resultados obtenidos a partir del presente trabajo de Tesis Doctoral aportan conocimientos sobre el comportamiento epidemiológico del TFC, procurando un sistema productivo más eficiente e integrado.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar herramientas de manejo del tizón foliar común del maíz a partir de la generación de información epidemiológica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del tizón foliar común del maíz en el centro norte de Córdoba a partir de la generación de una base de datos.
- ii. Cuantificar los daños y determinar umbrales de daño económico para el manejo del tizón foliar común del maíz.
- iii. Estudiar la variación de la severidad del tizón foliar común del maíz en relación a condiciones ambientales registradas a nivel de sitio.
- iv. Evaluar temporalmente epidemias del tizón foliar común en híbridos de maíz con diferentes reacciones.
- v. Generar y validar una escala diagramática de hoja completa y un software para la estimación de la severidad foliar causada por el tizón foliar común del maíz.

HIPÓTESIS

El tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, presenta epidemias en el centro norte de Córdoba que pueden medirse y modelizarse, como también utilizarse para caracterizar el comportamiento de híbridos y generar escalas diagramáticas; constituyendo todas ellas, herramientas fundamentales para diseñar estrategias de manejo integrado y eficiente para este patosistema.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Para una mejor presentación, lectura y comprensión de los temas a abordar, la presente Tesis Doctoral se dividió en una primera parte donde se explicita la Revisión de Literatura realizada sobre el patosistema estudiado, una segunda parte dividida en cinco Capítulos donde se presentan los trabajos realizados durante el desarrollo de la Tesis y una tercera parte, donde se discute integralmente el patosistema y se resumen las conclusiones obtenidas en la presente Tesis Doctoral. Cada Capítulo, contiene el desarrollo de los objetivos específicos planteados, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, así como conclusiones y la bibliografía específica utilizada.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. El maíz

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos y más conocidos, siendo uno de los tres principales cultivos de cereales del mundo, junto con el arroz y el trigo. Además de ser básico para el consumo humano, es utilizado para la alimentación animal y, recientemente, como bio o agro combustible (FAO, 2019). Perteneció a la familia de las *Poáceas* (gramíneas), tribu *Maydeae*, y es la única especie cultivada del género *Zea*, otra especie de este género es comúnmente llamada teosinte, y especies del género *Tripsacum* conocido como arrocillo o maicillo, son parientes salvajes o formas de *Zea mays*. Son clasificados como del Nuevo Mundo, porque su centro de origen está en América (Paliwall *et al.*, 2001). Inicialmente, los taxónomos clasificaron a los géneros *Zea* y *Euchlaena*, al cual pertenece el teosinte, como dos géneros distintos. Basados en la compatibilidad para la hibridación entre estos grupos de plantas y estudios citogenéticos, se aceptó que ambos pertenecen al género *Zea* (Reeves & Mangelsdorf, 1942). El teosinte y *Tripsacum* son importantes como posibles fuentes de características deseables para el mejoramiento de maíz. *Tripsacum* no tiene valor económico directo, pero el teosinte tiene algún valor como forraje (Paliwall *et al.*, 2001).

El maíz es conocido por varios nombres comunes, el más utilizado en países anglo parlantes es maize, excepto en Estados Unidos y en Canadá, donde es llamado corn. En español es denominado maíz, en francés maïs, en portugués milho, y en el subcontinente indiano es conocido como mkka o makki (Paliwall *et al.*, 2001). El maíz cultivado es una planta completamente domesticada y evolucionó con el hombre desde tiempos antiguos, no crece en estado salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo totalmente dependiente de los cuidados humanos (Wilkes, 1985; Galinat, 1988; Dowsell *et al.*, 1996). Se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores entre 7.000 y 10.000 años atrás. La evidencia más antigua de maíz como alimento viene de sitios arqueológicos en México, donde algunas pequeñas espigas de maíz, posiblemente de más de 5.000 años, fueron encontradas en cavernas de pueblos primitivos (Wilkes, 1979; 1985). Muchos investigadores creen que el maíz habría tenido origen en México, donde éste y el teosinte coexistieron desde tiempos antiguos y donde ambas especies poseían una amplia diversidad (Weatherwax, 1955; Iltis, 1983; Galinat, 1988; Wilkes, 1989). El descubrimiento de fósiles de polen y de espigas de maíz en cavernas arqueológicas sostiene fuertemente la posición de que el maíz se originó en México (Paliwall *et al.*, 2001) (**Figura 1**).

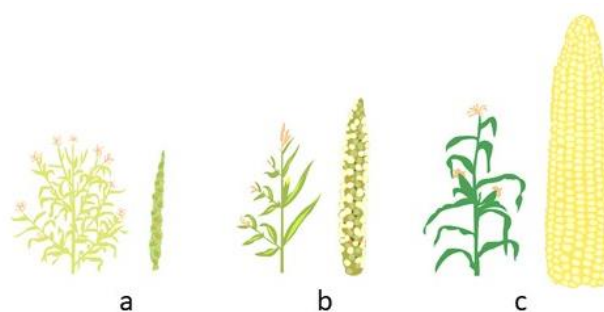


Figura 1. Descripción en imágenes de la evolución de la planta y la espiga del maíz desde el teosinte (a) hasta híbrido actual (c), pasando por un híbrido primitivo (b). Fuente: Paliwall *et al.* (2001).

La difusión del maíz a partir de su centro de origen en México hacia varias partes del mundo fue tan notable como su evolución a planta cultivada y productora de alimentos. Los habitantes de varias tribus indígenas de América Central y de México llevaron esta planta para otras partes de América Latina, el Caribe, y después para los Estados Unidos y Canadá. Exploradores europeos llevaron el maíz a Europa y, posteriormente, los comerciantes a Asia y África. El debate sobre el origen de maíz todavía está en curso y entender este problema, no es sólo de interés académico, es muy importante para promover programas de mejoramiento buscando la transferencia de características deseables de parientes salvajes y criollos en el mejoramiento continuo de maíz. Ya que es un cultivo de gran importancia para alimentar a la creciente población mundial, para la producción de alimentos y raciones para animales y para uso industrial, como la producción de biocombustibles, principalmente por sus ventajas comparativas de producción en ambientes desfavorables (Paliwall *et al.*, 2001).

2. La producción de maíz en la República Argentina y en la Provincia de Córdoba

En la campaña 2018-19, Argentina sembró más de 6 millones de hectáreas de maíz, produciendo 57 millones de t, de las cuales se exportaron 36,5 millones (FAO/GIEWS, 2019; MAGyP, 2019). Con esa producción, Argentina se posiciona como el cuarto país de mayor producción del mundo, sólo detrás de Estados Unidos, China y Brasil, representando el 5,4 % de la producción mundial (**Figura 2**). Argentina es el segundo exportador mundial, con 36,5 millones de t, lo que representa el 12,5 % de las exportaciones mundiales de maíz, sólo superado por Estados Unidos (USDA-FAS, 2019). El maíz es un cultivo estratégico para Argentina, según un informe de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBA, 2019), ya que contribuyó con más de 10 mil millones de dólares al Producto Bruto Interno (PBI). La región centro norte de Córdoba sembró la mayor superficie en la campaña 2018-19 (870.000 hectáreas) de Argentina, si se considera además a las regiones centro y sur, Córdoba se posicionó como la de mayor producción nacional, y la octava, en orden internacional (BCBA, 2019).

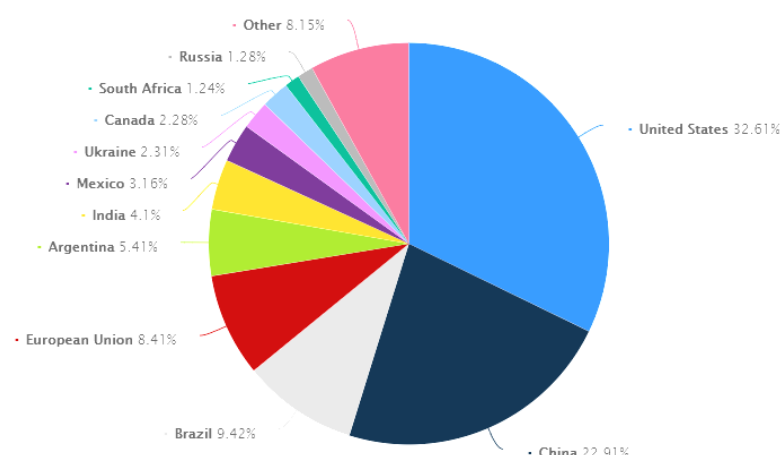


Figura 2. Participación porcentual de distintos países y la Unión Europea en la producción mundial de maíz. Fuente: USDA-FAS, 2019.

3. El tizón foliar común (TFC) o helmintosporiosis del maíz

3. 1 Historia

El agente causal del tizón foliar común del maíz (TFC) es el hongo anamorfo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs (1974) y su teleomorfo es: *Setosphaeria turcica* (Luttrell) Leonard & Suggs (Mycobank, 2019). Esta enfermedad por mucho tiempo recibió el nombre de helmintosporiosis porque su agente causal fue ubicado en el género *Helminthosporium* Linl (Shoemaker, 1959; Sivanesan, 1987; Alcorn, 1988; Muchovej *et al.*, 1988). En español se cita además como tizón común, tizón foliar, tizón foliar común, tizón del maíz y/o helmintosporiosis. En portugués, es comúnmente denominado “helmintosporiose” o como “helmintosporiose comum”. En inglés, “turcicum leaf blight”, o como “northern corn leaf blight” (NCLB), siendo este último término adoptado para distinguirlo del tizón del sur de la hoja de maíz o “southern corn leaf blight” (SCLB) producido por *Bipolaris maydis* (teleomorfo: *Cochliobolus heterostrophus*), que es más frecuente en los estados del sur de Estados Unidos (Holliday, 1980).

Los primeros relatos del TFC, causado por el hongo *Helminthosporium turcicum* Pass, fueron realizados en maíz (*Zea mays* L.) en 1876 por Passerini en Perna, Italia (Fernández Valiela, 1978; Jordan *et al.*, 1983), dos años después, Cooke & Ellis describen la enfermedad en Estados Unidos (Holliday, 1980). Posteriormente, Pammel *et al.* (1910) y Drechsler (1923), consideraron al patógeno como *Trichometasphaeria turcica* Luttrell (Fernández Valiela, 1978). Luego, Leonard & Suggs (1974) establecieron como género *Exserohilum* a las especies de *Helminthosporium* donde el hilo (hilum) de los conidios es prominente o fuertemente saliente.

Actualmente, la denominación aceptada es *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs (1974). Además, un nuevo género de ascomicete, *Setosphaeria*, fue propuesto para reasignar el teleomorfo, anteriormente clasificado como *Keissleriella* o *Trichometasphaeria* (Alcorn, 1988). En Estados Unidos, la enfermedad fue mencionada por primera vez en Nueva Jersey (1978) y la primera epidemia ocurrió en Connecticut en 1889 (Drechsler, 1923). Las primeras citas del TFC en la Argentina datan del año 1944 (Campi, 1944); la autora menciona que, en 1913, Hauman Merck, encontró lesiones sobre hojas de maíz y llamó a su agente *Helminthosporium gramineum* Rab.; Lindquist en 1928, en la Facultad de Agronomía de La Plata, concluyó que se trataba de *Helminthosporium turcicum*.

En la literatura específica se puede encontrar a este patógeno citado con la abreviación *Ht*, de *Helminthosporium turcicum*, y los genes que proporcionan resistencia son denominados de la misma forma. En esta Tesis Doctoral será abreviado como *Et*, por su última denominación *Exserohilum turcicum*.

3.2 Sintomatología

Los síntomas aparecen aproximadamente entre una a dos semanas después de iniciado el proceso infeccioso en las hojas (Elliot & Jenkins, 1946; Vitti *et al.*, 1995), como lesiones foliares de forma elíptica alargadas, de longitud variable de 2,5 a 15 cm (**Figura 3**). Éstas, cambian de color verde al grisáceo, tornándose al final pardo/amarronado, retomando color grisáceo, con la esporulación del hongo. La lesión presenta bordes delimitados de color pardo-rojizo, pero la expresión de los síntomas, entre ellos el color de los bordes, puede variar dependiendo del cultivar. Las lesiones de *Et* con la forma típica, descrita anteriormente, se denominan lesiones de tipo susceptible, cuando las lesiones presentan halos amarillentos, o blanquecinos y menor tamaño, así como menor tasa de producción de conidios (esporulación), se denominan lesiones de tipo resistente (**Figura 4**). Los primeros síntomas se inician en las hojas inferiores y progresan hacia la parte superior de la planta. En infecciones severas, aumenta el número de lesiones por hoja y las hojas se marchitan, tuercen y secan. El aspecto general de un cultivo de maíz afectado severamente, es seco, con hojas torcidas, muertas, que cuelgan, como si hubiese sufrido los efectos de heladas o sequía extrema, llevando a la planta a una muerte prematura (**Figuras 5 y 6**).

Sobre las lesiones, el patógeno esporula fácilmente en condiciones favorables de humedad y temperatura, produciendo una masa de esporas de coloración verde-oliva a negra (Fernández Valiela, 1978; Reis *et al.*, 2004). Las lesiones ocasionadas por patógenos necrotróficos, como *Et*, poseen un crecimiento extremadamente variable, con un tamaño final de lesión potencialmente mucho mayor que los patógenos biotróficos, pudiendo llegar a varios centímetros cuadrados de área lesionada (Ullstrup, 1974; Balmer, 1980).

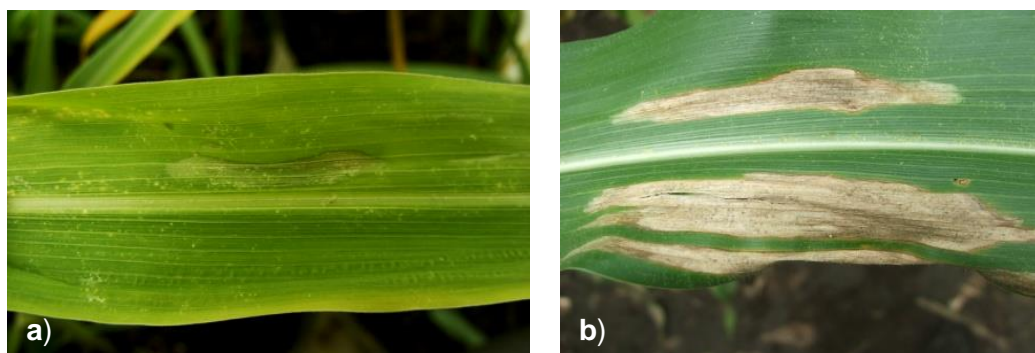


Figura 3. Síntomas de lesiones foliares iniciales (a) y avanzadas (b) del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*. Las lesiones iniciales comienzan a manifestarse sobre la lámina foliar en forma elíptica alargada, con cambios de color verde al grisáceo, mientras las lesiones avanzadas presentan mayor tamaño y son de color pardo/amarronado, tornándose grisáceas cuando el patógeno esporula.

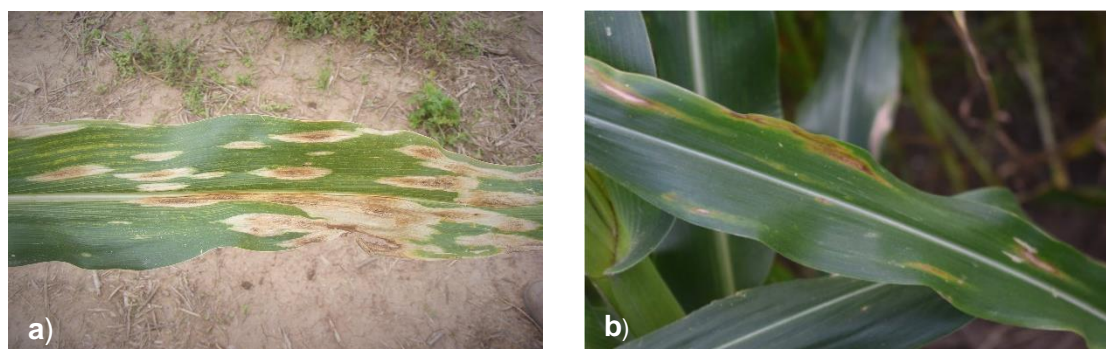


Figura 4. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en genotipo susceptible (a) y resistente (b). Las lesiones en un material susceptible presentan formato típico, elípticas/alargadas de color pardo/amarronadas; mientras que en un material con resistencia presentan halos amarillentos, o blanquecinos y menor tamaño, así como menor esporulación.



Figura 5. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en un lote con un híbrido susceptible, en la localidad de Piquillín, Córdoba, año 2015. Hojas del tercio inferior y medio de la planta completamente necrosadas por la enfermedad.



Figura 6. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en un híbrido susceptible, en las hojas de mayor importancia para la generación del rendimiento del cultivo (hojas alrededor de la espiga), en la localidad de Piquillín, Córdoba, año 2015.

3.3 Ocurrencia y distribución

El TFC afecta áreas de cultivo de maíz a nivel mundial, tanto en el hemisferio norte como en el hemisferio sur. Se han reportado prevalencias y epidemias en la mayoría de las regiones productoras de maíz de los Estados Unidos y Canadá (Lipps, 1997; Tenuta & Zhu, 2012; Bergstrom, 2014; Wise, 2015), de México, Ecuador y Brasil (Casela *et al.*, 1998; Culqui Recalde, 2015), de India (Harlapur, 2005), del noreste y norte de China (Wang *et al.*, 2014), de Uganda, Kenia y Tanzania (Adipala *et al.*, 1993; Muiru, 2008; Nwanosike *et al.*, 2015), de Nueva Zelanda y Australia (Fowler, 1985; Watson & Napier, 2006), de España y Reino Unido (González & González Varela, 2007; Mainka *et al.*, 2012), de Lituania, Rumania y región del Cáucaso (Jinjikhadze, 2001; Borcean *et al.*, 2012; Treikale *et al.*, 2014), y de Alemania, Austria y Francia (Cassini, 1973; Mainka *et al.*, 2012; Lfl, 2015). En Brasil el TFC es la helmintosporiosis más común de las que ocurren en el cultivo de maíz, en algunos híbridos y localidades asume un papel preocupante en la producción sustentable del cultivo, y sobre todo en áreas donde la temperatura y humedad son más elevadas (Frosi & Balmer, 1980; Kamikoga *et al.*, 1991; Pereira, 1995; Pinto, 1997), presentando la mayoría de las veces, correlación positiva entre la intensidad de enfermedad y daños en el rendimiento, en poblaciones de maíz pisingallo y maíz dulce (Quezado-Soares & Lopes, 1993).

En Argentina, el TFC se consideró una enfermedad difundida en todas las áreas cultivadas con maíz desde 1969, constituyendo un grave problema en regiones tradicionales del cultivo, pero sus daños fueron más graves en el noroeste y noreste del país (Idia, 1969). A partir de la campaña 2007-08, se manifestó todos los años, presentado severidades que variaron de acuerdo a la respuesta genética de los materiales. En el año 2010, Guerra & De Rossi, registraron que el TFC fue la enfermedad de mayor prevalencia (>90 %) en el centro norte de Córdoba. Esta situación también se registró en Entre Ríos (Formento, 2010), Buenos Aires (Couretot *et al.* 2011, 2014) y Santa Fe (Sillón, 2013).

3.4 Daños y pérdidas

Los daños, pérdidas y severidades registradas en el desarrollo del TFC en maíz, según lo hallado en la literatura consultada, se resumen en la **Tabla 1**.

Las enfermedades foliares pueden tener una influencia directa en la cantidad de materia seca almacenada en el grano o en la biomasa final de la planta (Shah & Dillar, 2006). Los daños asociados con las manchas foliares son el resultado del mal funcionamiento y de la destrucción de los tejidos fotosintético como consecuencia del aumento en el número y del área de las lesiones que pueden producir la necrosis de toda la hoja. La necrosis y la muerte prematura de las hojas limitan la intercepción de la radiación solar y la translocación de fotoasimilados a los granos en desarrollo (Reis *et al.*, 2004). La hoja de la espiga y las hojas

inmediatamente por encima y por debajo de la espiga de una planta de maíz pueden representar entre el 33 y el 40 % del área foliar total de la planta (Pataky, 1992). Una reducción del 50 % de la radiación incidente 15 días antes y 15 días después de floración puede provocar una disminución de 40 a 50 % del rendimiento de los granos de maíz (Fisher & Palmer, 1984). Según Fancelli (1988), una destrucción del 25 % del área foliar de maíz en su porción terminal, en la etapa próxima a floración, puede reducir 32 % del rendimiento. En este contexto, el TFC ha sido reportado produciendo pérdidas en el rendimiento de los granos de maíz en todo el mundo, posee incidencia y severidad variables, año a año y de localidad a localidad, dependiendo en gran parte, de la base genética de las plantas y de su interacción con el ambiente. Es una enfermedad policíclica, es decir nuevas inoculaciones son necesarias para el desarrollo de la enfermedad, tornándose altamente dependiente de la esporulación de lesiones anteriores (Ullstrup, 1966).

En condiciones epidémicas, la incidencia puede llegar al 100 % provocando reducciones significativas en la productividad (> 30%) (Carson, 1955; Raymundo, 1981; Ramadhani *et al.*, 2011). Dependiendo de las condiciones climáticas, el TFC, puede afectar significativamente la producción y calidad, principalmente cuando la infección coincide con la época de floración (Ullstrup, 1970). Los daños causados por el TFC según Chenulu & Hora (1962) y Hughes & Hooker (1971) pueden variar de 27 a 90 % de la producción de granos. En Carolina del Norte (EUA), destruyó el 75 % del área foliar (Leonard *et al.*, 1985). Una reducción promedio del 18 % en el rendimiento de granos fue determinada por Perkins & Pedersen (1987) en inoculaciones en cinco estadios de crecimiento en híbridos con diferentes genes de resistencia. Así mismo, cuando una alta intensidad de enfermedad se establece antes del panojamiento los daños en el rendimiento pueden alcanzar 50 % (Shurtleff, 1973).

Hooker & Perkins (1980) indicaron que las reducciones en la producción de granos no ocurren si el 75 % o más de los tejidos de la parte superior de las plantas permanecen sanas durante por lo menos tres cuartas partes del período de llenado de granos. Raymundo & Hooker (1981) observaron daños de 62,3 % en la producción de híbridos, infectados antes de la floración femenina, en condiciones favorables al desarrollo de la enfermedad. La mayor severidad registrada por los autores fue del 97 % seis semanas después de panojamiento. Pataky (1992) observó una relación semejante entre la distribución de la severidad de la enfermedad en la planta y la producción de espigas de maíz dulce, y las reducciones en peso de espigas fueron mínimas cuando la severidad del TFC, en la parte superior de la planta, fue menor al 8 % en madurez de cosecha.

Pinto (1996) determinó que el TFC constituye uno de los problemas fitosanitarios que más afecta al cultivo de maíz y que los cultivares de maíz pisingallo son altamente susceptibles. Cuando los síntomas aparecen antes del panojamiento, los daños pueden ser muy elevados (Issa, 1983). Además de la reducción de la producción debido a la destrucción

del tejido fotosintético, el TFC también influye en una mayor susceptibilidad de los tejidos a los patógenos que producen pudriciones de raíz y tallo (Balmer & Pereira, 1987), y según Pereira *et al.* (1993) el TFC reduce la producción de granos y aumenta el vuelco de las plantas. La aplicación de los fungicidas maneb + Zn, captafol y clorotalonil en plantas de maíz pisingallo del cultivar South América Mushroom fue eficiente en el control del TFC, este control de la enfermedad incrementó la producción hasta el 66 % (Issa, 1983). En India, Harlapur *et al.* (2000) determinaron severidades de TFC entre 1 y 53,5 %, y Babu *et al.* (2004) entre 20 y 60 % de severidad. En el mismo país, Shivankar & Shivankar (2000) y Patil *et al.* (2000) estimaron reducciones de rendimiento de 10,5 a 18,7 % y de 13,6 a 50 %, respectivamente. Pérdidas de rendimiento entre 15 y 30 % fueron registradas en Sud África (Crampton, 2015); en Tanzania, entre 33 y 62 % en las zonas húmedas y entre 4 y 35% en las zonas secas (Nwanosike *et al.*, 2015), en Alemania entre 10 y 30 % (Zellner, 2012) y en Estados Unidos y Ontario (Canadá) de 2,5 % (Wise, 2013; 2014). En la Argentina, De Rossi *et al.* (2010; 2011) hallaron reducciones del rendimiento de granos de 40 % en híbridos susceptibles de maíz, en las campañas 2007/08 y 2009/10. Couretot *et al.* (2014) determinaron pérdidas entre 20 y 46 % del rendimiento durante las campañas 2011/12 y 2012/12, cuando aplicaron fungicidas mezclas de triazol y estrobilurina.

Tabla 1. Daños y severidades según distintos autores ocasionados por el tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*.

Detalle			Región	Autores
Daño	disminución de rendimiento	27 - 90 %	Estados Unidos	Hughes & Hooker (1971)
		62,3 %	Estados Unidos	Raymundo & Hooker (1981)
		18 %	Estados Unidos	Perkins & Pedersen (1987)
		10,5 - 18,7 %	India	Shivankar & Shivankar (2000)
		13,6 - 50 %	India	Patil <i>et al.</i> (2000)
		10 - 40 %	Córdoba, Argentina	De Rossi <i>et al.</i> (2010)
		10 - 30 %	Alemania	Zellner (2012)
		3,36 millones de toneladas (1%)	Estados Unidos y Ontario (Canadá)	Wise (2013)
		8,9 millones de toneladas (2,5%)	Estados Unidos y Ontario (Canadá)	Wise (2014)
		25,7% (2012)	Pergamino, Argentina	Couretot <i>et al.</i> (2014)
		29,2% (2013)	Pergamino, Argentina	Couretot <i>et al.</i> (2014)
		849 - 1647 kg ha ⁻¹	Córdoba, Argentina	Carmona <i>et al.</i> (2014)
		15 - 30 %	Sud África	Cramptom (2015)
		33 - 62 % (zonas húmedas) y 4 - 35 % (zonas secas)	Tanzania	Nwanosike <i>et al.</i> (2015)
Severidad	destrucción de área foliar	75 %	Carolina del Norte, Estados Unidos	Leonard (1985)
		0 - 66 %	Estados Unidos	Pataky <i>et al.</i> (1998)
		1 - 53,5 %	India	Harlapur <i>et al.</i> (2000)
		20 - 60 %	India	Babu <i>et al.</i> (2004)
		10 - 50 %	Córdoba, Argentina	De Rossi <i>et al.</i> (2010)
		30 - 40 %	San Luis, Argentina	Micca <i>et al.</i> (2015)

3.5 Etiología y taxonomía

El agente causal del TFC es el hongo anamorfo *Exserohilum turcicum* (Pass.) K. J. Leonard & E. G. Suggs (1974), siendo su teleomorfo o estado sexual *Setosphaeria turcica* (Luttr.) Leonard & Suggs (1974). Pertenece filogenéticamente al Reino Fungi, Subreino Eumycota, División Ascomycota, subdivisión Pezizomycotina, Clase Dothideomycetes, Subclase Pleosporomycetidae, Orden Pleosporales y familia Pleosporaceae (Mycobank, 2019). Sus sinónimos son los anamorfos *Helminthosporium turcicum* Pass., *Bipolaris turcica* (Pass.) Shoemaker, *Drechslera turcica* (Pass.) Subramanian & Jain, *Luttreliia turcica* (Pass.) Khokhr., Vodorosli, Griby i Mkní Dal'nego. Teleomorfos: *Trichometasphaeria turcica* Luttr., *Keissleriella turcica* (Luttr.) Arx (Luttrell, 1958; Sinavesan, 1987; Alexopoulos *et al.*, 1996; Mycobank, 2019).

La etapa asexual está presente en la naturaleza con mucho mayor frecuencia que la etapa sexual (Borchardt *et al.*, 1997; Bunkoed *et al.*, 2014), por lo cual *E. turcicum* es el principal agente causal de la enfermedad y esta etapa es la que se utiliza para las descripciones frecuentemente. Los conidios de *Et* son fusiformes, con forma de clava o cilíndricos, rectos o ligeramente curvos, verde grisáceo a oliváceos, con germinación comúnmente en una o ambas células polares, raramente en las células supramedianas y/o medianas y presentan hilo protuberante, los conidios miden 10-32 x 30-147 µm, presentando 2-9 pseudoseptos. Los conidióforos son oliváceos, lisos o verrugosos, con 2-4 septos y miden 150-250 x 8-10 µm (Ellis, 1971; Sinavesan, 1987; De Rossi *et al.*, 2014) (**Tabla 2, Figuras 7a y 8a**).

Tabla 2. Caracterización morfológica, según distintos autores, de conidios de *Exserohilum turcicum*.

Autor	Ancho (µm)	Largo (µm)	Septos (nº)	Edad de las colonias - Medio de cultivo
Ellis (1971)	18-32	50-144	4-9	(-)
Chidambaram (1973)	17-22,1	96,9-125,8	4-7	(-)
Shurtleff (1992)	20,0	105,0	3-8	(-)
Bach & Kimati (1995)	17,7	108,9	(-)	(-)-BDA
De Rossi & Reis (2014)*	10-25	30-147	2-8	15 días-LCHA
De Rossi & Reis (2014)**	10,3-20,3	46,5-128,3	2-8	15 días-LCHA

*valores mínimo y máximo, **medias, (-) sin información

El hongo puede producir clamidosporas dentro de las células de los conidios, globosas, que se forman con noches sucesivas de baja temperatura (aproximadamente 10 °C), en los restos del cultivo (Boosalis *et al.*, 1967; Leach *et al.*, 1977) (**Figura 8c**). La forma sexual, *S. turcica*, raramente ocurre en la naturaleza, pero puede ser producida en laboratorio, cuando

se cultivan aislamientos compatibles en medio de cultivo, a través de la recombinación de los tipos de apareamiento MAT1-1 y MAT1-2 (Chang & Fan, 1986). Ambos tipos de apareamiento pueden coexistir en algunas regiones (Abadi *et al.*, 1993), recién en 2012 se identificó a nivel de campo en dos establecimientos en Tailandia (Bunkoed *et al.*, 2014).

La maduración de los peritecios de *S. turcica* ocurrió a las tres semanas cuando fragmentos de tallo de cebada esterilizados en óxido de propileno, fueron parcialmente inmersos en medio agar de Sachs e inoculados con bloques de micelio a partir de colonias puras e incubadas a 25 °C. Los peritecios maduros son negros, elipsoidales a globosos, miden 271-359 µm de diámetro; desarrollan pelos dispersos en la parte superior, cerca del ostiolo. Las ascas son cilíndricas u obclavadas con un soporte corto; miden 176-249 x 24-31 µm. Normalmente producen 1-6 o 2-4 ascas maduras, conteniendo de 1 a 8 ascosporas con tres septos, hialinos, rectos o ligeramente curvos y dimensiones de 13-17 x 42-78 µm (Luttrell, 1958; Sivanesan, 1987; Frederiksen & Odvody, 2000) (**Figura 7b**). La reproducción es casi totalmente asexual, produciendo sólo conidios. La distribución desigual de tipos de apareamiento y de desequilibrio de la fase gamética dentro de las regiones tropicales, ha sido sugerida como resultado de la reproducción sexual, posiblemente basado en el que el hongo reside en material vegetal en descomposición (Borchardt *et al.*, 1998; Ramathani *et al.*, 2011).

Al igual que muchos ascomicetes que son patógenos, *S. turcica* pasa la mayor parte de su vida como un organismo haploide y sólo se torna diploide en un breve estado durante la recombinación sexual antes de que ocurra la meiosis para producir ascosporas haploides (Moghaddam & Pataky, 1994). En experimentos de apareamiento o combinación de 12 aislamientos de *Et*, Soares *et al.* (1993) hallaron que 16 combinaciones, de las 66 posibles, produjeron el teleomorfo *S. turcica*, en medio agar Sach con tallo de cebada (Luttrell, 1958). Ninguno de los aislamientos cultivados individualmente fue capaz de producir la forma perfecta, lo que confirmó su naturaleza heterotática. La formación de los peritecios ocurrió aproximadamente a los 18 días, y entre 9 y 13 días después de la formación del peritecio. Las especies de *Setosphaeria*, como *S. turcica*, basado en la información de la secuencia 28S de ADN, son colocados dentro de la familia *Pleosporaceae* (Kodsueb *et al.*, 2006). Esta familia contiene muchos patógenos de monocotiledóneas importantes económicamente, incluyendo especies de *Cochliobolus*, tales como *C. heterostrophus* (anamorfo *Bipolaris maydis*), agente causal de la mancha foliar del sur en maíz, especies de *Alternaria* que ataca un gran número de vegetales y *Pyrenophora*, con especies como *P. teres* que ocasiona la mancha foliar en cebada (Martin, 2011). En 2011, el genoma v1.0 de *S. turcica* se completó utilizando Roche (454) Sanger Fosmids, y consenso en el Joint Genome Institute (www.jgi.doe.gov). El genoma de *S. turcica* es de 43 Mpb en tamaño, comprendiendo 11 702 genes (Martin, 2011).

Son varias las especies de *Helminthosporium* que pueden causar enfermedades en maíz, y por ello es necesario realizar un diagnóstico correcto. En determinadas condiciones el

hongo *H. maydis* (raza 0 y H), y *H. carbonum* pueden causar daños, pero es *Helminthosporium turcicum* (*Ht*), hoy denominado *Exserohilum turcicum* quien presenta la mayor ocurrencia, siendo la misma generalizada, y causando graves problemas en cultivares susceptibles (Pereira, 1995).

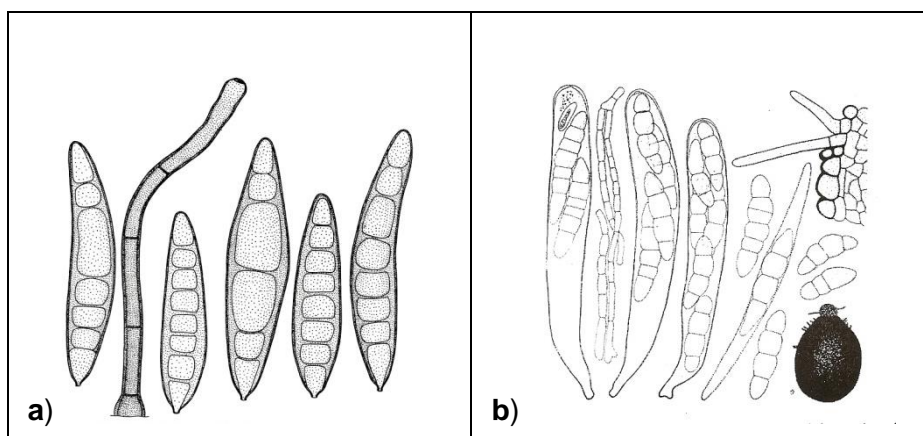


Figura 7. Conidios y conidióforo de *Exserohilum turcicum* (a). Fuente: Ellis (1971). Ascas, ascosporos y peritecio de *Setosphaeria turcica* (b). Fuente: Sivanesan (1987).

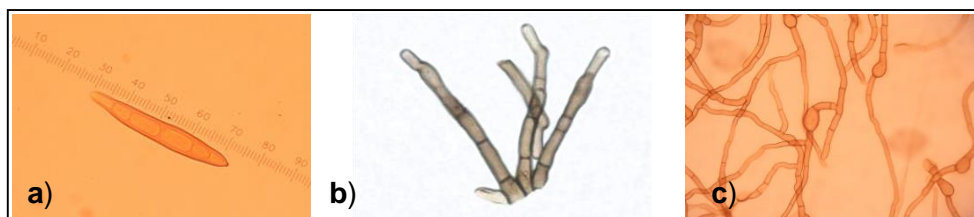


Figura 8. Conidio (a), conidióforos (b) y clamidosporas (c) de *Exserohilum turcicum*.

3.6 Medios de cultivo

La esporulación de *Et* depende de fuentes adecuadas de carbono (C) y nitrógeno (N) (Malca & Ullstrup, 1962). Como fuentes de C se pueden utilizar xilosa, glucosa y asparagina (Soares *et al.*, 1993); maltosa, lactosa y caseína hidrolizada como fuente de N (Ullstrup, 1962; Masias & Berququist, 1974; Leach *et al.*, 1977). Según Nakamura & Gimenes-Fernandes (1993), se obtuvieron conidios y conidióforos en medio de cultivo V-8, con buena esporulación a 25 °C. Soares *et al.* (1993) indicaron que el uso de papa dextrosa agar (PDA) y tomate (MT) no consiguieron inducir la esporulación de todos los aislamientos de *Et* probados. Sin embargo, con el medio de Muchovej (1986) modificado (con $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 1,625 g;

FeSO₄.7H₂O - 0,19 mg; CuSO₄.5H₂O - 0,16 mg; MnSO₄.H₂O - 0,11 mg; Na₂MoO₄.2H₂O - 0,01 mg), todos los aislamientos fueron capaces de esporular abundantemente.

Tuite (1969) cita al medio de lactosa caseína hidrolizada agar (LCHA) como muy apto para inducir la esporulación de *Et*, que se usa rutinariamente en muchos trabajos con *Et* (Malca & Ullstrup, 1962; Tuite, 1969; Frosi & Balmer, 1980a; 1980b; Leath & Pedersen, 1983; Thakur *et al.*, 1989; Kamiukoga *et al.*, 1990; Bigirwa *et al.*, 1993; Vitti *et al.*, 1995; Bach & Kimati, 1995; Fernandes & Balmer, 1991; 2002). Algunos autores utilizaron también el medio papa dextrosa agar (PDA) (Hilu & Hooker, 1965; Chang & Fan, 1986; Bowen & Pedersen, 1988a; Leonard *et al.*, 1989). En 2014, De Rossi & Reis generaron un medio semiselectivo para el crecimiento de *Et* denominado DRR, preparado con carbendazim 60 mg/L, captan 30 mg/L, sulfato de neomicina mg/L 600 y sulfato de estreptomicina 500 mg/L, todo agregado a un litro del medio LCHA. Camera *et al.* (2019) concluyeron que la mayor esporulación de *Et*, medida como conidios.cm⁻², se alcanzó con la utilización del medio semiselectivo DRR, independientemente del régimen lumínico, cuando se compararon en las mismas condiciones, con los medios papa sacarosa agar, jugo V8 agar, LCHA y PDA.

3.7 Epidemiología

3.7.1 Ciclo de la enfermedad

El hongo *Et* pasa el invierno en restos de plantas infectadas en forma de conidios, micelios o clamidosporas (estructuras de sobrevivencia, formadas a partir de las células de las esporas o de las hifas miceliales). También lo puede hacer en plantas hospedantes alternativas como *Sorghum halepense*, *S. bicolor*, *Echinochloa-cruss-galli*, teosinte y/o en plantas voluntarias (“guachas”) de maíz. En menor medida el inóculo puede provenir de semillas infectadas, pero las mayores epidemias se dan en regiones donde la siembra directa o labranza mínima es una práctica común, quedando en superficie grandes cantidades de rastrojo. El TFC muestra primero una fase hemibiotrófica, donde los conidios germinan para penetrar en el tejido vivo, invaden en la primera fase de la infección y luego pasa a comportarse como necrotrófico, obteniendo nutrientes del tejido necrótico. Temperaturas entre 20 y 25 °C y alta humedad por períodos prolongados (>10 h) favorecen la esporulación fúngica. Estas condiciones durante el inicio del ciclo de cultivo favorecen la esporulación inicial desde los restos de cultivos en el campo, dando lugar estas esporas a las primeras infecciones. Posteriormente, se producirá una esporulación adicional en las primeras lesiones generadas; las corrientes de viento y las salpicaduras de agua son las fuentes predominantes de dispersión a través de la cual se transportan las esporas dentro y a través de los lotes. Por ello, el inóculo producido sobre las lesiones es el responsable de los ciclos secundarios de la enfermedad (**Figura 9**).

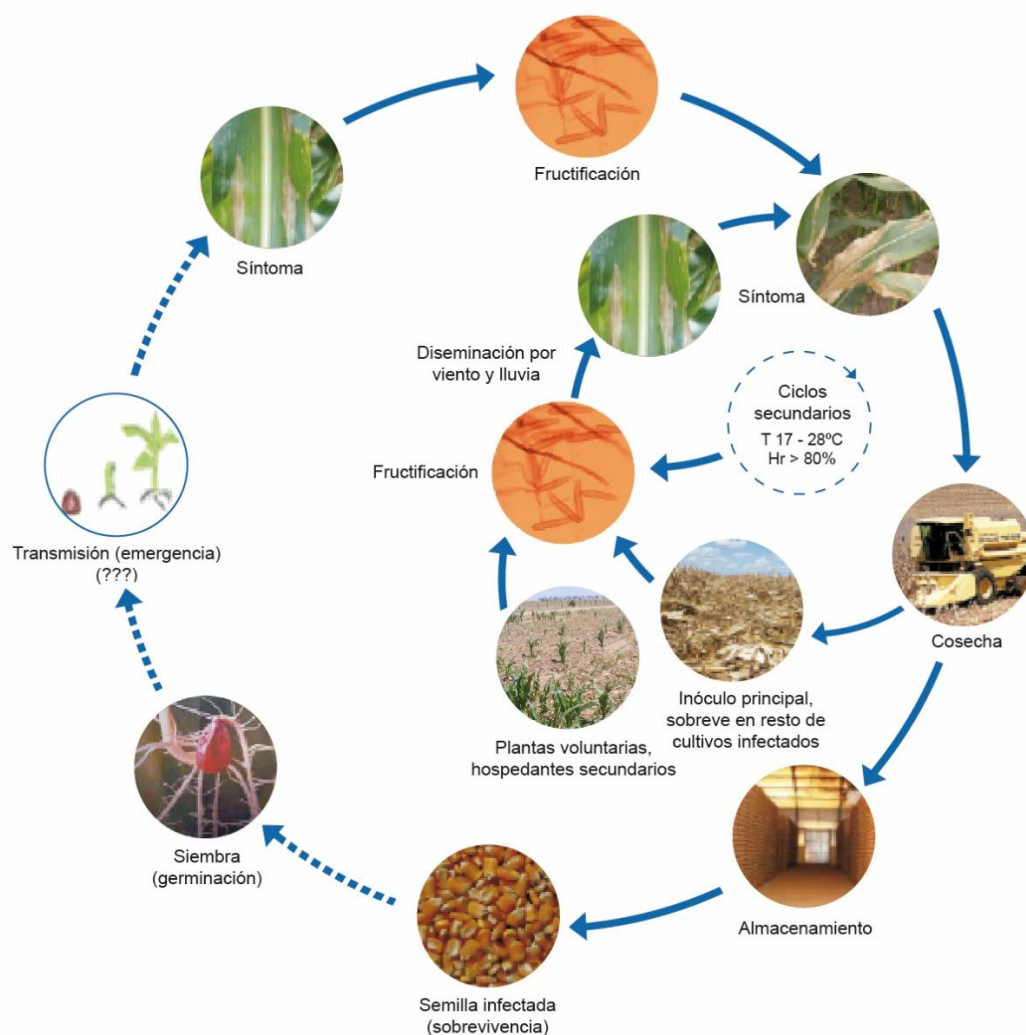


Figura 9. Ciclo del tizón foliar común del maíz, causado por el hongo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs.

3.7.2 Condiciones ambientales predisponentes

Las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo del TFC, registradas por distintos autores en la literatura específica, se resumen en la **Tabla 3**.

Las epidemias del TFC pueden ocurrir si hay inóculo en la región, condiciones ambientales conducentes y susceptibilidad en los materiales sembrados (Elliot & Jenkins, 1946; Raymundo & Hooker, 1981; Carso, 1995; Ramathani *et al.*, 2011). La duración del período de mojado foliar es el factor ambiental más importante para la infección y la esporulación de *Et* (Levy & Cohen, 1983a). Según Berger (1970), el TFC requiere de 7 horas de humedad relativa del aire al 100% y temperatura superior a 15 °C, óptima entre 20 y 25 °C, para una significativa esporulación, la cual se distingue por generar zonas oscuras en las

lesiones. Observaciones microscópicas sugieren que los conidios de *Et* se forman durante la noche y se liberan durante la mañana. El proceso de infección se inicia y se expresan los síntomas, cuando ocurren temperaturas próximas a 20 °C y un mínimo de 8 h de mojado foliar (Vitti *et al.*, 1993). Levy & Cohen (1983a) indican que el período de mojado foliar mínimo requerido para la germinación conidial y formación del apresorio es de 1,3 y 4 horas, respectivamente, a 20 °C, para el establecimiento de la infección, parece ser necesario un mínimo de 5 h de mojado foliar entre 18 y 27 °C de temperatura (Hilu & Hooker, 1963; Berger, 1973). En cuanto a la germinación de esporas de *Et* y su penetración en las hojas, Ullstrup (1966) afirmó que se produce entre seis y 18 h, cuando el agua está presente sobre las hojas y la temperatura oscila entre 18 y 27 °C.

La infección de *Et* en maíz puede ocurrir desde la emergencia de las plántulas hasta la cosecha. Sin embargo, los daños más severos ocurren desde panojamiento hasta seis - ocho semanas después de espigazón, lo que resulta en pérdidas del peso de granos (Chenulu & Hora, 1962; Ullstrup, 1966). El TFC en maíz es favorecido por la humedad relativa mayor a 80 % y una temperatura media superior a 25 °C, lo que puede ocurrir en siembras tardías y siembras con alta densidad (Pelmus *et al.*, 1986). Sharma & Mishra (1988) hallaron que la enfermedad comenzó con temperatura de 21,1 °C y una humedad relativa aproximada del 75 %. En Georgia (Rusia), las condiciones más favorables para el desarrollo fueron 22 a 25 °C de temperatura y 75 a 90 % de humedad relativa (Khatri, 1993). Según White (1999), el patógeno se desarrolla a temperaturas que varían entre 17 y 28 °C y con moderada a alta humedad relativa, pero puede tolerar condiciones climáticas extremas.

Sobre las lesiones, el hongo esporula abundantemente, produciendo conidios que son transportados por el viento hasta nuevas hojas. El número de conidios capturados en el aire es significativamente elevado durante la mañana, cuando ocurren noches con temperaturas entre 20-26 °C y un mojado foliar entre 10-12 h, favorables para la esporulación (Meredith, 1966; Berger, 1970; Bleicher & Balmer, 1993). El rocío nocturno continuo favorece al patógeno, mientras que la epidemia es retardada por tiempo seco. El inóculo producido sobre las lesiones es responsable por los ciclos secundarios de la enfermedad. De acuerdo con Bowen & Pedersen (1988a), el crecimiento óptimo de las lesiones de *Et* ocurre cuando la temperatura mínima está por encima de 20 °C y la máxima debajo de 28 °C. Sin embargo, según Levy (1991) el tamaño de las lesiones de *Et* también depende de la agresividad del aislamiento estudiado.

Según Vitti *et al.* (1995) la estrategia evolutiva de *Et* está basada en el crecimiento de las lesiones, que es independiente de las condiciones ambientales. Si ocurre la infección, el patógeno crece en el interior de la hoja a cualquier temperatura o humedad exterior. En estas condiciones, y dependiendo de la humedad, puede esporular poco, ya que hacerlo en el momento más adecuado le permite economizar energía. Las condiciones ambientales

favorables para la enfermedad se dan en las primeras siembras, de agosto a septiembre, y en las siembras posteriores a diciembre, denominadas siembras de safrinha en Brasil o siembras tardías en Argentina. En las regiones con mayor altitud sobre el nivel del mar, estas condiciones pueden ser registradas durante todo el año. El crecimiento de la lesión es un parámetro fundamental para el éxito de este tipo de patógeno. La temperatura ideal para la esporulación del hongo fue establecida por diversos investigadores como 25 °C (Bhowmik & Prasada, 1970; Frosi & Balmer, 1980a; 1980b; Leath & Pedersen, 1983).

Tabla 3. Condiciones ambientales predisponentes, según distintos autores, para el desarrollo del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*.

Bibliografía	Condiciones predisponentes	
	Humedad	Temperatura (°C)
Hilu & Hooker (1963)	> 5 h de mojado foliar	25
Meredith (1966)	10-12 h al 100 %	20-26
Ullstrup (1966)	> 6 h con mojado foliar	18-27
Berger (1970)	7 h al 100 %	> 15
Berger (1970)	10-12 h al 100 %	20-26
Berger (1973)	< 5 h de mojado foliar	25
Bhowmik & Prasada (1970)	-	25
Frosi & Balmer (1980)	-	25
Levy & Cohen (1983a)	> de 5 h de mojado foliar	20 ± 5
Leath & Pedersen (1983)	-	25
Pelmus <i>et al.</i> (1986)	> 80 %	> 25
Sharma & Mishra (1988)	> 75 %	21
Bowen & Pedersen (1988a)	-	> 20 y < 28
Levy (1989)	-	25
Narro (1992)	clima húmedo, gran presencia de rocío	suave
Bleicher & Balmer (1993)	10-12 h al 100 %	20-26
Vitti (1993)	8 h al 100 %	20 ± 2
Khatri (1993)	75-90 %	22-25
White (1999)	> 85 %	17-28
Frederiksen (2000)	alta humedad	suave
Mohan <i>et al.</i> (2009)	alta humedad	suave
Beshir (2011)	alta humedad	16-34
De Rossi <i>et al.</i> (2015)	> 10 de mojado foliar	25 ± 2

3.7.3 Infección

La infección comienza cuando un conidio de *Et* se deposita en una hoja de una planta susceptible, este proceso es dependiente de condiciones ambientales específicas y generalmente comienza después de un período de rocío, cuando los niveles de humedad relativa y temperatura son moderados y con bajos niveles de luz. Cuando las esporas germinan, las hifas comienzan a crecer, generalmente de manera bipolar. La germinación es dependiente de la luz; con una luz constante de 150 $\mu\text{molE m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ o luz azul (465-480 nm)

la germinación es inhibida hasta el 85 % cuando se compara con condiciones de luz normal (Levy & Cohen, 1983b). Los tubos germinativos de la espora crecen sobre la superficie de la hoja y seguidamente producen uno o múltiples apresorios. El micelio se desarrolla a partir del apresorio penetrando directamente a través de la cutícula y la epidermis de la hoja y raramente a través de los estomas (fase hemibiotrófica) (Knox-Davies, 1974; Muiru *et al.*, 2008; Walsh *et al.*, 2008).

Después de la penetración, el hongo continúa creciendo hasta causar necrosis y colapso de los tejidos. El micelio crece a través del tejido de la hoja y hacia dentro del sistema vascular (Muiru *et al.*, 2008). El crecimiento del micelio en el xilema es abundante, bloqueando y causando marchitamiento debido a la deficiencia del transporte de agua, obteniendo nutrientes de ese tejido necrosado (fase necrotrófica) (Thakur *et al.*, 1989; Walsh *et al.*, 2008). Las lesiones en desarrollo poseen forma de cigarro y color amarronado, luego van tornándose grises por la esporulación del hongo, miden de 2,5 a 20 cm de largo, distribuyéndose longitudinalmente a lo largo de la hoja. Generalmente, la infección se limita al follaje, y raramente causa daños directos a la semilla. Sin embargo, lesiones foliares grandes y numerosas son suficientes para causar reducción del área fotosintética y muerte de plantas, lo que lleva a la disminución del rendimiento (Raymundo & Hooker, 1981). Carmona *et al.* (2014) en un ensayo a campo sobre un híbrido de maíz susceptible al TFC, sembrado en Córdoba, determinaron una tasa de crecimiento en el largo de las lesiones de 0,4 cm día⁻¹. De manera similar, Parisi *et al.* (2014) determinaron una tasa de 0,5 cm día⁻¹ en un híbrido susceptible al TFC sembrado a fines de diciembre en Pergamino, asociaron esta expansión a las horas de mojado foliar ocurridas durante la evaluación, registrando un aumento de aproximadamente 1 cm de la lesión por cada 14 horas de mojado foliar.

3.7.4 Sobrevivencia

El hongo puede sobrevivir de una estación de cultivo a la otra sobre el rastrojo (hojas, vainas de hojas y vainas de la espiga), en forma de micelio, conidióforos y conidios y/o como clamidospora (estructura de resistencia) (Luttrell, 1958; Ullstrup, 1966; Boosalis *et al.*, 1967; Levy & Cohen, 1983a; Shurtleff, 1992; White, 1999; Pingali, 2000; Lipps & Mills, 2002), y en menor medida en semillas infectadas (De Rossi *et al.*, 2014). En Nueva Zelanda, *Et* produce naturalmente estructuras de sobrevivencia en noches frías, con aproximadamente 10 °C (Leach *et al.*, 1977). El período de sobrevivencia en restos de cultivos es determinado principalmente por las condiciones ambientales de humedad y luz. En general, mientras existan nutrientes y fuentes de carbono disponibles en el sustrato, el hongo continuará explorando nutricionalmente el sustrato y produciendo inóculo. Esta es la fuente de inóculo más importante para la infección de las plantas de maíz (Reis *et al.*, 2004).

Shree & Luke (1983) estudiaron la capacidad de supervivencia saprofítica del hongo *Et* en campos de sorgo y descubrieron que la supervivencia del patógeno fue del 80 % en las tres semanas posteriores al inicio de la incubación, pero se redujo al 10 % después de 12 semanas. Taken *et al.* (1994), en Uganda informaron que las epidemias locales del TFC de maíz generalmente se originan a partir de conidios generados sobre restos de maíz infestado. Además, indicaron que la severidad y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad fueron significativamente mayores en parcelas con restos de cultivo infestados que en parcelas libres de residuos.

3.7.5 Hospedantes

Otras especies vegetales han sido mencionadas como hospedantes de *Et* además de maíz (*Zea mays*), entre ellas sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), capin, sorgo de alepo o Johnson grass (*S. halepense* (L.) Pers.), sorgo de Sudan (*S. sudanense* (Piper) Stapf, *Echinochloa* (*Echinochloa-cruss-galli*) y teosinte (*Euchlaena mexicana* Schrad.) (Levy, 1984; Reis *et al.*, 2004; Bunker & Mathur, 2006). También fue aislado de hojas de *Panicum miliaceum* L. en Australia, de *P. novemnerve* Stapf en Rodésia, de *Paspalum conjugatum* Bergius y *Sorghum margaritifera* Stapf en África y *Euchlaena mexicana* Schrad., en Honduras, México y Estados Unidos (Robert, 1962). Para cuantificar la importancia de cada hospedante, Bach & Kimati (1992a; 1992b) verificaron que aislamientos de *Et* de maíz de Brasil fueron patogénicos al ser inoculados en maíz y en sorgo, mientras que aislamientos realizados de capim massanbará fueron débilmente patogénicos en maíz y no patogénicos en sorgo. Romero (2016), propone como importantes fuentes de inóculo de *Et*, a plantas voluntarias (guachas) de maíz resistentes a herbicidas, que se generan campaña tras campaña en algunas regiones productoras que tienen problemas con la utilización de algunos herbicidas.

3.7.6 Diseminación

Durante la fase saprofítica el inóculo es diseminado principalmente por el viento y salpicaduras de lluvia hasta los órganos aéreos de la planta de maíz. Según Meredith (1966), la liberación violenta de conidios de *Et* ocurre por la reducción de la presión de vapor de agua, atribuyéndolo al mecanismo inducido a los conidios y conidióforos por la pérdida de agua. Trabajos de laboratorio muestran que las condiciones relacionadas con una rápida reducción en la presión de vapor proporcionan la energía suficiente para la liberación de conidios. La temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa del aire influyen en el aumento de la concentración de conidios de *Et* en el aire (Meredith, 1966; Berger, 1970; Leach, 1977; Bleicher & Balmer, 1993).

Otra fuente de diseminación muy importante de los patógenos es a través de la semilla. Según McNew (1960) los patógenos en la naturaleza procuran no separarse de sus hospedantes. En la misma línea de pensamiento, Smith (1995) relata que el inóculo en la semilla, es responsable del transporte de patógenos necrotróficos desde los centros de origen de las especies vegetales a todos los sitios de cultivo del mundo. *E. turcicum*, fue confirmado como patógeno de semilla tanto en el cultivo de sorgo (Navi *et al.*, 1999) como en el de maíz (De Rossi *et al.*, 2014). Según Romero (2016), esto puede explicar la distribución desde sus centros de origen en Mesoamérica (en el caso de maíz) o África Central (en el caso del sorgo) de acuerdo con análisis moleculares de poblaciones de Borchardt *et al.* (1998). La importancia epidemiológica de la semilla aún no se comprende bien. Se desconoce el potencial de inóculo en diferentes regiones, así como la tasa de transmisión del patógeno desde la semilla a la parte aérea de la planta, lo que requiere de estudios que puedan explicar por qué en ciertos cultivos de maíz sembrados donde nunca se cultivó maíz y sin cultivos cercanos, se desarrollan síntomas del TFC.

3.7.7 Manejo agronómico del cultivo de maíz en presencia del TFC

3.7.7.1 Razas - Resistencia

La población de *Et* muestra una extremadamente alta diversidad genética en las regiones tropicales y subtropicales, siendo la resistencia varietal la técnica más eficiente para controlar el TFC (McDonald & Linde, 2002). Existen dos tipos de resistencia para *Et* en el cultivo de maíz: cualitativa (monogénica, o gen a gen) y poligénica (cuantitativa). La resistencia cualitativa, es controlada por los genes *Ht*, donde los genes *Ht0*, *Ht1*, *Ht2* y *Ht3* se caracterizan por la formación de lesiones cloróticas y esporulación reducida, o, cuando está presente el gen *HtN*, el híbrido que lo posee, no evidencia lesiones hasta después de polinización. Los genes responsables de la determinación de razas de *Et* no son bien comprendidos, sin embargo, los genotipos de maíz utilizados para la evaluación de razas contienen genes individuales R, posiblemente indicando el sistema gen a gen (Lim *et al.*, 1974), pero se han encontrado reacciones de segregación más complejas (Moghaddam & Pataky, 1994).

La resistencia monogénica fue encontrada en maíz pisingallo procedente del Perú. La reacción de este genotipo a la infección de *Et* se caracteriza por lesiones necróticas más pequeñas circundadas por un extenso halo clorótico (Hooker, 1961; Ullstrup, 1963; Hooker, 1977; Hooker & Tsung, 1980). Este tipo de resistencia está gobernada por un gen dominante, denominado *Ht* (Hooker, 1961 y 1963). En las lesiones de plantas con resistencia monogénica, se observa un retraso en la necrosis del tejido y también una inhibición de la esporulación del patógeno (Obi *et al.*, 1980) (**Tabla 4**).

Tabla 4. Interacción gen a gen entre el patógeno *Exserohilum turcicum* y el hospedante *Zea mays* para el desarrollo del tizón foliar común del maíz. Fuente: Welz, 1998.

Raza de patógeno	Reacción de maíz con gen <i>Ht</i>				
	<i>Ht0</i>	<i>Ht1</i>	<i>Ht2</i>	<i>Ht3</i>	<i>HtN</i>
0	+	-	-	-	-
1	+	+	-	-	-
2	+	-	+	-	-
3	+	-	-	+	-
N	+	-	-	-	+
12	+	+	+	-	-
2N	+	-	+	-	+
23	+	-	+	+	-
23N	+	-	+	+	+
123N	+	+	+	+	+

- Reacción incompatible entre el gen de Avirulencia (Avr) y el gen *Ht*, no ocurre infección (= resistencia del hospedante)
 + Reacción compatible entre los genes Avr y *Ht* (= susceptibilidad del hospedante)

La resistencia cuantitativa al TFC está gobernada por muchos genes (poligénico), y se caracteriza por un menor número de lesiones y de menor tamaño (lesiones del tipo resistentes, descritas anteriormente en el punto 3.2) (Jenkins & Robert, 1952; Patterson *et al.*, 1963; Hilu & Hooker, 1965; Ullstrup, 1970; Hughes & Hooker, 1971; Leonard *et al.*, 1989) (**Figura 10**). La mayoría de los QTL que presenta son menores (0.5-5 %) y solo unos pocos tienen efectos fenotípicos importantes (> 20 %). La heredabilidad media de entrada (h^2) de resistencia suele ser moderada a alta: 0.53-0.95 (Welz, 1998). La acción génica varía con la edad de la planta, siendo puramente aditiva en plantas juveniles (Carson, 1995) y la dominancia se vuelve más importante gradualmente a lo largo del curso de una epidemia (Schechert *et al.*, 1997). Los efectos maternos y citoplasmáticos no son importantes en este patosistema (Geiger & Heun, 1989; Welz & Geiger, 2000).



Figura 10. Síntomas del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum* en hojas de la espiga (he), he+1 y he-1, de tres híbridos de diferente reacción: resistente (R), moderadamente resistente (MR) y susceptible (S), en Villa María, Córdoba.

La existencia de razas fisiológicas de *Et* ha sido mencionada en diversos trabajos. La raza 0 es prevalente en muchas partes del mundo (Fallah Moghaddam & Pataky, 1994); la raza 1 fue registrada en los Estados Unidos en 1978 (Turner & Johson, 1980) y otras razas fueron aisladas en Hawái, China, México, Uganda y Zambia (Welz & Geiger, 1993). En Brasil, Almeida & Heidrich-Sobrinho (1978) observaron variabilidad en el comportamiento de líneas de maíz Rio-Grandense y de cuatro líneas norteamericanas frente a cinco aislamientos del patógeno, provenientes del estado de Río Grande do Sul. En 1981, Heidrich-Sobrinho & Hermes sugirieron la presencia de razas fisiológicas en aislamientos de *Et* sobre 20 líneas de maíz. Fernandes & Balmer (2002) citaron la existencia de al menos dos razas fisiológicas de *Et* en aislamientos de Brasil, que pudieron ser diferenciadas utilizando los cultivares Pirapoca y Iw. Una raza, representada por el aislamiento J/P9 causó lesiones necróticas en Pirapoca, mientras que Iw fue resistente. Por otro lado, otra raza representada por el aislamiento C/PR6, causó lesiones necróticas del tipo susceptible en ambos cultivares, venciendo así a la resistencia representada por el gene *Ht1*.

Cinco razas fueron identificadas de acuerdo con las reacciones de resistencia y susceptibilidad de genotipos de maíz portando los genes *Ht1*, *Ht2*, *Ht3* y *HtN* (Masias & Berquist, 1974, Windes & Pedersen, 1991) denominadas razas 0, 21, 23, 2N y 23N (Leonard *et al.*, 1989). En Brasil, en el año 1995, Pereira (1995) hizo un análisis de la disponibilidad de germoplasma resistente para las enfermedades de maíz, donde menciona que el comportamiento de híbridos comerciales a *Et* estaba compuesto por un 44 % resistentes, 37 % intermedios y 20 % susceptibles. En las regiones productoras de maíz de Brasil, Gianasi *et al.* (1996) identificaron las razas fisiológicas de *Et* 0, 2, 3, N, 1N, 2N, 12N, 23N y 123N, utilizando las líneas diferenciales B37 *Ht1*, B37 *Ht2*, A619 *Ht3*, B37 *HtN* y M64.

Laxminarayana & Shankarlingam (1983) identificaron resistencia a *Et* en las líneas puras B-37, CM-104, PTR, Ade-C, Phill DMR-1 e Phill DMR-8. Pedersen (1984) evaluó 85 líneas de Iowa y nueve selecciones de la base sintética BS8 para la resistencia de tipo clorótico causada por los aislamientos de *Et* de los Estados Unidos. Estos materiales fueron evaluados en Iowa, Illinois y Pensilvania; once líneas y tres selecciones fueron resistentes en todos los lugares probados, la línea pura Tlaltizapan 8146 fue registrada como resistente y las líneas Guira 8046, Sadaf, Coimbatore S 440 y Across 8146 fueron moderadamente resistentes (Hosain, 1987). Harlapur *et al.* (2000) realizaron estudios de campo en 37 líneas de maíz artificialmente inoculadas y reportaron a CI-4, CM-104 y Nal-147 como fuentes de resistencia para *Et*, y a las líneas CM-111, CM-501, CM-121, KDMI-12 y CM-118 con reacción intermedia.

La presencia de varias razas del patógeno y la variabilidad en la agresividad implican que los programas de mejoramiento de maíz deban incorporar resistencia poligénica, más duradera en el tiempo, asegurando así a los agricultores una protección confiable de su cultivo. Es estos programas, las evaluaciones fenotípicas del TFC suelen ser realizadas a nivel de campo en la etapa planta adulta, normalmente en el estado fenológico de grano pastoso o R4. Pudiendo realizarse con infestaciones naturales, aunque la inoculación artificial asegura una alta presión y una distribución uniforme de la enfermedad. Esto maximiza la diferenciación genética y, por lo tanto, garantiza una alta heredabilidad y grandes ganancias en la selección (Welz, 1998).

En programas de mejoramiento y de selección de materiales son utilizadas varias escalas y distintas metodologías para realizar evaluaciones de intensidad de severidad del TFC. La escala de campo de nueve puntos es una de las de mayor utilización a nivel internacional. Una adaptación de la misma se presenta en la **Tabla 5**, donde se utilizó información de varios autores.

La evaluación fenotípica de la resistencia del TFC en líneas per se presenta un desempeño que es estrechamente correlacionado ($r = 0.94-0.98$) con su capacidad de combinación general (Schechert *et al.*, 1997). La alta correlación con la evaluación per se

corroborar por el hecho de que la expresión génica de la resistencia a TFC es principalmente aditiva (Abera *et al.*, 2016).

Tabla 5. Escala de campo para la evaluación del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) utilizada en programas de mejoramiento de poblaciones de maíz. Fuente: adaptación realizada en base los trabajos realizados por Ullstrup *et al.*, 1945; Hurni *et al.*, 2015; Narayan *et al.*, 2019 y Basavarajeshwari & Mruthunjaya, 2019.

Escala	Fenotipo	Reacción a la enfermedad
1	Plantas sin síntomas de enfermedad	Resistente (nota ≤ 3)
2	< 5 % de la superficie foliar es afectada por las primeras lesiones, las mismas son pequeñas y se desarrollan en pocas plantas por hilera en las hojas del tercio inferior de la planta	
3	5 - 10 % de la superficie foliar es afectada por las lesiones, las mismas ya son distinguibles en más plantas y en mayor nivel por hojas del tercio inferior	
4	10 - 20 % de la superficie foliar es afectada, son visibles claros síntomas en más plantas y en más hojas del tercio inferior, se registran pocas lesiones diseminadas en hojas del tercio medio	Moderadamente resistente (nota 3,1 - 5)
5	20 - 40 % de la superficie foliar es afectada, los síntomas comienzan a fusionarse, abundante número de lesiones en tercio inferior y moderado número de lesiones en tercio medio	
6	40 - 60 % de la superficie foliar es afectada, abundante número de lesiones diseminadas en tercio inferior que comienza a secarse, infección moderada en tercio medio y algunas lesiones en hojas del tercio superior	
7	60 - 80 % de la superficie foliar es afectada, aproximadamente la mitad del área foliar está seca por la infección de la enfermedad, abundante número de lesiones en tercio medio y moderado en hojas del tercio superior	Moderadamente susceptible (nota 5,1 - 7)
8	80 - 90 % de la superficie foliar es afectada, entre el 50 y el 75 % del área foliar está seca por la infección de la enfermedad, alcanzado el tercio superior con abundante número de lesiones	
9	90 - 100 % de la superficie foliar es afectada, casi toda la planta está seca por la infección de la enfermedad, se registran plantas secas y muertas prematuramente	

Nota: en la explicación, se utilizó a la planta, dividida en tres tercios (inferior, medio y superior) para denotar el sector de la misma con síntomas. A considerar: en infecciones naturales los síntomas comienzan a desarrollarse desde las hojas inferiores, y en inoculaciones artificiales la enfermedad comienza a desarrollar síntomas en proximidad a las hojas que fueron inoculadas.

Los programas de mejoramiento de resistencia deben asignar sus recursos en las primeras etapas de selección para ser más eficientes. Sin embargo, la enfermedad muestra algo de heterosis para resistencia (18 – 27 %) y consecuentemente los híbridos experimentales también deben analizarse para determinar la resistencia a TFC en una etapa de selección posterior para explotar esta heterosis (Schechert *et al.*, 1997). Es recomendado el uso de multilíneas o mezcla de cultivares en ambientes donde la población de patógenos es muy diversa. Producir híbridos complejos, como híbridos de tres vías y doble cruce, con líneas endogámicas que difieren en los genes de resistencia, puede ser otra estrategia para retrasar la erosión genética, ya que estos híbridos complejos son heterogéneos y, por lo tanto, presenta una gran variación genética dentro del cultivar (Welz, 1998). En algunos programas de mejoramiento se utilizan híbridos de una sola cruce debido a los menores costos de la

semilla. En ambientes, donde la diversidad de patógenos es menor, el uso de resistencia cualitativa se recomienda ya que es más fácil identificar a las plantas enfermas y pueden emplearse en un programa de reproducción más fácilmente (McDonald & Linde, 2002).

Los genes *Ht* pueden ser fácilmente incorporado por múltiples retrocruzas con o sin marcadores moleculares, mejorando las resistencias cuantitativas pueden lograrse mediante procedimientos de selección recurrentes. El objetivo principal es mejorar la frecuencia de alelos favorables, y mantener una variación genética suficiente para aumentar el desempeño de la población en los ciclos posteriores (Falconer & Mackay, 1996). La selección asistida por marcadores es una importante herramienta de mejoramiento, especialmente cuando la selección de materiales resistentes se realiza con la incorporación de genes *Ht* o QTL principales por retrocruzamiento. Con el uso de marcadores moleculares, es posible identificar en las primeras etapas de desarrollo de la planta, plantas que contienen el gen o QTL de interés (primer plano selección), aumentar la proporción de genoma parental recurrente (selección de fondo) y reducir el arrastre de enlaces (Miedaner, 2016). La selección genómica parece ser más prometedor que la selección asistida por marcadores, ya que permite la estimación simultánea de todos los efectos marcadores de un genotipo y, por lo tanto, pueden ser efectivamente utilizado en la selección de rasgos cuantitativos, incluso cuando solo tiene un efecto pequeño QTL están disponibles (Jannink *et al.*, 2010). Esta herramienta reduce en gran medida la cantidad necesaria unidades de prueba en el campo, porque solo se prueban a nivel de campo las progenies que se predicen como más resistentes.

3.7.7.2 Toxinas y Enzimas

El patógeno *Et* facilita su penetración y colonización con la producción de metabolitos secundarios y toxinas. El genoma de *Et* contiene dos genes que codifican enzimas xilanasas, que degradan el polisacárido lineal xilano en xilosa, rompiendo así la hemicelulosa, uno de los componentes principales de las paredes celulares de las plantas, causando la pérdida de la integridad celular ayudando a la penetración del patógeno (Degefu *et al.*, 1997; Degefu *et al.*, 2004). Keissar *et al.* (2002) detectaron enzimas catalasas de *Et*, en medio de cultivos donde dos isoformas particulares mostraron su implicancia en la germinación de esporas y en el proceso infeccioso inicial. Se han aislado muchas toxinas de *S. turcica* (Robeson & Strobel, 1982; Zang *et al.*, 2007). Una toxina, la toxina *Helminthosporium turcicum* (HT) ha sido identificada como una fitotoxina lipofílica llamada monocerina, ésta aplicada a las hojas de maíz y sorgo provoca la inhibición de la síntesis de clorofila, reduce el crecimiento de las raíces y genera lesiones y necrosis en genotipos susceptibles (Cuq *et al.*, 1993; Zang *et al.*, 2007). Además, donde se aplicó con monocerina, se desarrolló una necrosis que se diseminó por todo el sistema vascular, lo que sugiere que la monocerina no solo está involucrada en la

penetración sino también en las etapas posteriores de la infección (Cuq *et al.*, 1993). De acuerdo con Bach *et al.* (2005), las fitotoxinas aisladas de las plantas de maíz pudieron reproducir los síntomas de las manchas foliares causadas por *Et*. Además, informaron que las plantas tratadas con toxinas aisladas de maíz presentaron necrosis, mientras que las plantas que recibieron solo suspensión de conidios, sólo lesiones.

Con respecto al efecto de las toxinas en plántulas de maíz, Bach *et al.* (2005) informaron que plantas de maíz susceptibles a *Et* (variedades Ag64A y M28C) presentaron una inhibición del 20,5 al 33,3 % en el desarrollo de las plántulas; las toxinas de *Et* presentaron capacidad de retardar el desarrollo de plántulas, haciéndolas más sensibles al ataque del patógeno. En tratamientos con toxinas en hojas importantes, hallaron que en las variedades susceptibles Ag64A y M28C las toxinas de los aislamientos de maíz generaron necrosis (como en la formación de lesiones) y en las variedades resistentes Ag303 y Ag405 apenas generaron clorosis. En estudios de cromatografía de capa fina (o thin-layer chromatography - TLC) y cromatografía líquida de alta eficacia (o high performance liquid chromatography - HPLC) con aislamientos de *Et* de Alemania, Austria y Kenia, Mainu (2008) reveló la presencia de 2 o 3 fitotoxinas producidas por varios de esos aislamientos. De todos los aislamientos evaluados, se encontró que un 48,3 % producían fitotoxinas a varios niveles, las que indujeron síntomas foliares característicos, similares a los observados después de la inoculación con el patógeno.

3.7.7.3 Fungitoxicidad de fungicidas *in vitro*

Singh & Kaiser (1989) informaron que Bavistin (carbendazim) y Vitavax (carboxina) inhibieron completamente el crecimiento del micelio y la germinación de conidios de *Et*. Rahman *et al.* (1993) observaron que Tilt (propiconazole) fue eficaz contra *Et* en maíz en condiciones *in vitro*. González & González-Varela (2007) indicaron que en estudios de concentración mínima inhibitoria *in vitro* los fungicidas flusilazol + carbendazim, epoxiconazol, flutriafol + ciproconazol fueron eficaces en el control del micelio de *Et*, mientras que los fungicidas carbendazim, clorotalonil y azoxistrobina no presentaron control. Bowen & Pedersen (1998b) observaron que el propiconazol (triazol) inhibe el crecimiento micelial de *Et* con un valor medio de CI_{50} de 0,01 µg/ml. Chapara *et al.* (2012) establecieron la sensibilidad basal de *Et* a la piraclostrobina, observando valores de CI_{50} de la germinación de esporas, distribuidas en un rango entre 0,01 a 0,15 µg/ml. A través de la medición de las concentraciones inhibitorias del 50 % del crecimiento micelial (CI_{50}) de diferentes ingredientes activos para el control de *Et*, De Rossi *et al.* (2015) determinaron la sensibilidad basal de seis fungicidas, donde iprodione fue el más potente con CI_{50} <0,01 mg/L, seguido por fludioxonil con 0,31 mg/L y tiram con 1,37 mg/L. Al mismo tiempo carbendazim, metalaxil y captan fueron no fungitóxicos según este estudio, con CI_{50} >50 mg/L para todos los aislamientos probados.

3.7.7.4 Eficiencia de fungicidas a campo

En 1956, Cox relató que diferentes formulaciones de maneb fueron efectivas en minimizar la severidad de *Et* en condiciones de campo, seguido por zirame, vacide y Z-65. Esos fungicidas aumentaron el rendimiento de granos y la calidad de la semilla. Según Berger (1973), el fungicida mancozeb tuvo buena eficiencia en el control de *Et* en maíz dulce, no registrando efecto fitotóxico en este cultivo. Issa (1983) determinó que la aplicación de los fungicidas maneb + Zn, captafol y clorotalonil en plantas de maíz pisingallo del cultivar South América Mushroom fue eficiente en el control de *Et* con incrementos de hasta el 66 % en la producción. Según Bowen & Pederson (1988), tres aplicaciones de propiconazol, a intervalos semanales, fueron eficientes en la reducción de la tasa de desarrollo del TFC en maíz. Por otro lado, Sharma & Mishra (1988), descubrieron que la infección de *Et* en maíz fue eficientemente controlada por seis aplicaciones de mancozeb (0,2 %), a intervalos de 10 días, a partir de tres días después de la inoculación realizada 30 días después de la siembra. La tasa de infección y la severidad se redujo y aumentó el rendimiento de granos.

Singh & Kaiser (1989) establecieron que el tratamiento de semillas con Bavistin (carbendazim) o Vitavax (carboxina) redujeron la incidencia del TFC causado por *Et* en plantas de maíz, bajo condiciones artificiales. Begum *et al.* (1993) evaluaron cinco fungicidas para el control de infecciones artificiales de *Et* en cultivares de maíz susceptibles. Todos los productos químicos redujeron la intensidad de la enfermedad y aumentaron el rendimiento de granos, siendo mancozeb el más eficaz, seguido por carbendazim, zineb, metil tiofanato y por último oxiclورو de cobre. Pinto (1997) halló que para el control de *Et* los tratamientos con tebuconazol fueron altamente eficientes, independientemente de la formulación y dosis utilizada. El fungicida mancozeb mostró menor eficiencia, apenas superior al testigo. En el cultivo de sorgo, Cota *et al.* (2010) determinaron que la mezcla de los fungicidas epoxiconazol y piraclostrobina fue eficiente en el control de TFC.

Díaz *et al.* (2012) hallaron que el fungicida azoxistrobina 20% + ciproconazol 8% a dosis de 500 cm³.ha⁻¹, alcanzó entre el 45 y 65 %, con una media de 28,5 % de control del TFC en distintas localidades de Argentina. Couretot *et al.* (2014) lograron buen control del TFC con la utilización de fungicidas mezclas de triazol y estrobilurina: i) piraclostrobina 26% + epoxiconazol 16% a dosis de 350 cm³.ha⁻¹, ii) azoxistrobina 20% + ciproconazol 8% a dosis de 500 cm³.ha⁻¹. Carmona *et al.* (2014) comprobaron la eficiencia de control de la mezcla trifloxistrobina + ciproconazol para el control del TFC del maíz. Carpane *et al.* (2019) indicaron

que las aplicaciones con trifloxistrobina + epoxiconazol preservaron el rendimiento al disminuir el progreso del TFC del maíz.

3.7.7.5 Control biológico

Stangarlin & Pascholati (1994) informaron que preparaciones de *Saccharomyces cerevisiae* pueden proteger el tejido de la hoja de maíz contra *Et*, posiblemente a través de mecanismos que implican antibiosis y/o inducción de resistencia. Mahamood *et al.* (1995) hallaron que los hongos *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y algunos hongos no identificados, fueron altamente eficaces en el control del crecimiento micelial y de la esporulación de *Et*. Sartori *et al.* (2016), en un estudio de aislamientos microbianos de la filósfera de maíz, lograron seleccionar once agentes de biocontrol de un total de 111 aislamientos, quienes mostraron actividad antagonista contra *Et*. La mayoría de las poblaciones epifíticas aisladas fueron bacterias de los géneros *Pantoea*, *Bacillus*, *Corynebacterium* y *Enterococcus*.

3.7.7.6 Manejo integrado

Para el manejo integrado del TFC del maíz es necesario combinar diferentes medidas, entre las que se mencionan el uso de genotipos resistentes, tolerantes y control con fungicidas, así como rotación de cultivos y eliminación de hospedantes secundarios. Sin embargo, ninguna de estas medidas es efectiva si se aplican de manera aislada a nivel de campo. En la literatura consultada, no se encontró información específica sobre el manejo integrado de esta enfermedad. Según Sharma *et al.* (2005), la estrategia más adecuada y rentable para el manejo del TFC del maíz es a través del uso de la resistencia del hospedante, que es respetuosa con el ambiente y conveniente para adaptarse al nivel del agricultor. La resistencia juega un papel importante en el manejo integral de la enfermedad. Por lo tanto, es una prioridad la identificación de genes y genotipos resistentes para esta importante enfermedad y su combinación con los rasgos productivos. Complementariamente a la resistencia, entre estrategias de manejo recomendadas en otros cultivos, que pueden utilizarse en el maíz, se destacan aquellas que tienen como objetivo principal reducir el inóculo en fuentes primarias, ya sea en semillas o restos de cultivos antecesores (Forcelini & Reis, 1997).

4. BIBLIOGRAFÍA - Introducción y Revisión de Literatura

- Adipala, E.; Lipps, P.E. & Madden, L.V. 1993. Occurrence of *Exserohilum turcicum* on maize in Uganda. Plant Dis. 77: 202-05.
- Alcorn, J.L. 1988. The taxonomic of "*Helminthosporium*" species. Annual Review of Phytopathology 26: 37-56.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. & Blackwell, M. 1996. Introductory mycology. New York. John Wiley & Sons. 4th. Edition, pp. 869.
- Almeida, A.M.P. & Heidrich-Sobrinho, E. 1978. Raças fisiológicas de *Helminthosporium turcicum* Pass., no Rio Grande do Sul. Agronomia Sulriograndense, Rio Grande do Sul, 14: 285-290.
- Babu, R.; Mani, V.P.; Pandey, A.K.; Pant, S.K.; Kundu, S. & Gupta, H.S. 2004. Maize Research at Vivekanand Parvatiya Krishi Anusandhan Sansthan - An Overview. Technical Bulletin, Vivekanand Parvatiya Krishi Anusandhan Sansthan, Almora, 21: 31.
- Bach, E.E. & Kimati, H. 1992a. Morfologia e patogenicidade de *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, isolado de milho, sorgo e capim massambará. Fitopatologia Brasileira 17:201.
- Bach, E.E. & Kimati, H. 1992b. Serologia e eletroforese de *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, isolado de milho, sorgo e capim massambará. Fitopatologia Brasileira 17: 166-167.
- Bach, E.E. & Kimati, H. 1995. Comparação morfológica e patogênica de *Exserohilum turcicum*, isolado de milho, sorgo e capim massambará. Summa Phytopathologica 21: 134-139.
- Bach, E.E.; Limiro, C. & Rodriguez, E. 2005. Extração e ação de toxinas de *Exserohilum turcicum* em plantas de milho. ConScientiae Saúde, São Paulo, 4: 108-113.
- Balmer, E. & Pereira, O.A.P. 1987. Doenças do milho. En: Paterniani, E. & Viegas, G.P. (Eds). Melhoramento e produção de milho. 2ª ed. Campinas, Fundação Cargill, pp. 597-634.
- Balmer, E. 1980. Doenças de milho. En. Galli, F. (Ed.) Manual de Fitopatologia. Piracicaba: Ceres, 20: 371-391.
- Basavarajeshwari, H. & Mruthunjaya, C.W. 2019. Disease reaction studies of maize (*Zea mays* L.) inbred lines and single cross hybrids under artificial epiphytotic conditions against *turcicum* leaf blight. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(5): 231-233.

- Begum, H.; Raj, R.B. & Satyanarayana, E. 1993. Field evaluation of five fungicides to control turicum leaf blight in maize. *Indian Journal of Plant Protection*, 21: 110-111.
- Berger, R.D. 1970. Forecasting *Helminthosporium turcicum* attacks in Florida sweet corn. *Phytopathology* 60: 1284.
- Berger, R.D. 1973. *Helminthosporium turcicum* lesion numbers related to number of trapped spores and fungicide sprays. *Phytopathology* 63: 930-933.
- Bergstrom, G. 2014. Corn and soybean diseases in the northeastern U.S. Northwest Crop, Soil and Dairy Meeting, UVM Extension, St. Albans, VT, January 21.
- Bhowmik, L. & Prasada, R. 1970. Physiologic specialization in *Helminthosporium turcicum* Pass. From India. *Phytopathologische Zeitschrift*, Berlin, 68: 84-87.
- Bigirwa, G.; Julian, A.M. & Adipala, E. 1993. Characterization of Uganda isolates of *Exserohilum turcicum* from maize. *African Crop Science Journal*, 1(1): 69-72.
- Bleicher, J. & Balmer, E. 1993. Armadilha para captura de conídios de *Exserohilum turcicum*, modelo grimpador e relações entre parâmetros climáticos e captura de conídios. *Summa Phytopathologica* 19: 118-123.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBA), 2019. Panorama agrícola semanal (PAS). Departamento de estimaciones agrícolas. Septiembre de 2019. Histórico. ISSN: 2408-4344.
- Boosalis, M.G.; Summer, D.R. & Rao, A.S. 1967. Overwintering of conidia de *Helminthosporium turcicum* on corn residues and in the soil in Nebraska. *Phytopathology* 57: 990-996.
- Borcean, A.; David, G. & Nita, S. 2012. Study concerning the behavior of the fungus *Helminthosporium turcicum* during 2009-2011 in the climate of Bozovici. *Research Journal of Agricultural Science* 44(2): 9-13.
- Borchardt, D.; Welz, G. & Geiger, H. 1998. Genetic structure of *Setosphaeria turcica* populations in tropical and temperate climates. *Phytopathology* 88: 322-329.
- Bowen, K.L. & Pedersen, W.L. 1988a. Effects of northern leaf blight and detasseling on yields and yield components of corn inbreds. *Plant Dis.* 72: 952-956.

- Bowen, K. L. & Pedersen, W. L. 1988b. Effects of propiconazole on *Exserohilum turcicum* in laboratory and field studies. *Plant Dis.* 72: 847-850.
- Bunkoed, W.; Supot, K.; Chaijuckam, P.; Yhamsoongnarn, J. & Prathuangwong, S. 2014. Sexual reproduction of *Setosphaeria turcica* in natural corn fields in Thailand. *Kasetsart Journal - Natural Science* 48 (2): 175-82.
- Camera, J.N.; Koefender, J.; Golle, D.P.; Bortolotto, R.P.; Horn, R.C.; Flores, E.F. & Deuner, C.C. 2019. Esporulação in vitro e inoculação de *Exserohilum turcicum* em milho. *Summa Phytopathologica* 45(3): 308-312.
- Campi, M.D. 1944. *Helminthosporium turcicum* Pass. en la Republica Argentina. Lilloa, tomo IV, pp.5-32. En: Marchionatto, J.B. Manual de las enfermedades de las plantas. Ed. Sudamericana, Buenos Aires, Argentina.
- Carmona M.A.; Viotti G. & F. Sautua. 2014. Tizón del maíz: cuantificación de daño y propuesta de umbral. *Actas 3º Congreso Argentino de Fitopatología*, pp. 260.
- Carpene, P. D.; Peper, A.M. & Kohn, F. 2019. Management of northern corn leaf blight using Nativio (trifloxystrobin + epoxiconazole) fungicide applications. *Crop Protection*. JCRP 104982. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104982>.
- Carson, M.L. 1995. Inheritance of latent period length in maize infected with *Exserohilum turcicum*. *Plant Dis.* 79: 581-585.
- Casela, C.; Renfro, R.B. & Krattiger, A.F. 1998. Diagnosing maize diseases in Latin America. ISAAA Briefs no. 9, ISAAA, Ithaca, NY & EMBRAPA, Brasilia, pp. 57.
- Cassini, R. 1973. Present state of maize diseases in France. Possibilities of control. Workshop on phytosanitary problems of maize (diseases and pests). *Rev. Pl. Pathol.* 52: 646.
- Chang, H.S. & Fan, K.C. 1986. Comparative studies on some biology and pathology of corn and broom corn isolates of *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard Suggs. *Botanical Bulletin Academia Sinica, China*, 27: 09-218.
- Chapara, V.; Pedersen, D. K.; Balint-Kurti, P.; Esker, P. D.; Robertson, A. E.; Paul, P. A. & Bradley, C. A. 2012. Baseline sensitivity of *Exserohilum turcicum* to the quinone outside inhibitor pyraclostrobin. *Phytopathology* 102: S4.21.
- Chenulu, V.V. & Hora, T.S. 1962. Studies on losses due to *Helminthosporium* blight of maize. *Indian Phytopathology*, 15: 235-237.

- Chidambaram, P., Mathur, S.B., & Neergaard, P. 1973. Identification of seed-borne *Drechslera* species. *Friesia* 10: 165-207.
- Cota, L.V.; da Costa, R.V.; da Silva, D.D. & Parreira, D.F. 2010. Recomendacoes para o controle químico da Helminthosporiose do sorgo (*Exserohilum turcicum*). Circular técnica 149, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, ISSN 1679-1150.
- Couretot, L. 2011. Principales enfermedades del cultivo de maíz. Actas de VI Jornada de Actualización Técnica de Maíz, Pergamino, Argentina, 9 agosto.
- Couretot, L.; Parisi, L.; Hirsch, M.; Suárez, M.; Ferraris, G. & Magnone, G. 2013. Principales enfermedades del cultivo de maíz en las últimas campañas y su manejo. Actas de VIII Jornada de Maíz, Pergamino, Argentina, 29 agosto.
- Couretot, L.; Parisi, L. & Magnone, G. 2014. Control químico del tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) en maíz tardío. Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología, San Miguel de Tucumán. Ploper, D. (Ed.), 1a ed., Córdoba, Argentina: Asociación Civil Argentina de Fitopatólogos. ISBN 978-987-24373-1-2.
- Cox, R. 1956. Control of *Helminthosporium turcicum* blight disease of sweet corn in South Florida. *Phytopathology* 46: 112-115.
- Cramptom, B.G. 2015. Northern corn leaf blight in maize and sorghum – piecing together the puzzle. Dupont Plant Breeding Symposium 2015, Pretoria, 29 September.
- Culqui Recalde, D.G. 2015. Estudio de la variabilidad patogénica de poblaciones de *Exserohilum turcicum* y caracterización de la resistencia de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) de Cotacachi y Saraguro. Thesis, Central University of Ecuador, Quito.
- Cuq, F.; Herrmann-Gorline, S.; Klæbe, A.; Rossignol, M. & Pettprez, M. 1993. Monocerin in *Exserohilum turcicum* isolates from maize and the study of its phytotoxicity. *Phytochem.* 34: 1265-1270.
- De Rossi, R.L. & Couretot, L. 2013. Resúmenes I Taller de Sanidad en Maíz. Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, 26 de abril de 2013.
- De Rossi, R., Plazas, M., Brucher, E., Ducasse, D. & Guerra, G. 2010. El Tizón del Maíz (*Exserohilum turcicum*): presencia e impacto en el centro norte de Córdoba durante tres campañas agrícolas. Actas IX Congreso Nacional de Maíz, Rosario, Argentina, 17-19 noviembre.

- De Rossi, R. L.; Guerra, G. D.; Plazas, M. C.; Brücher, E.; Gregoret, M.C. 2011. Tizón del maíz (*Exserohilum turcicum*). Comportamiento sanitario de diferentes híbridos de maíz en la región centro norte de la provincia de Córdoba en la campaña 2009/10. Revista CREA: AACREA. 2011 vol. n°. p 70 - 73. ISSN 0325-9846.
- De Rossi, R.L.; Guerra, F.A.; Vuletic, E.; Plazas, M.C.; Brücher, E.; Guerra, G.D. 2016. Informes fitosanitarios región Centro Norte de Córdoba. ISSN: 2451-5949.
- De Rossi, R. L. & Reis, E.M. 2014. Semi-selective culture medium for *Exserohilum turcicum* isolation from corn seeds. Summa Patopathologica 40(2): 163-67.
- De Rossi, R. L.; Reis, E. M. & Brustolin, R. 2015. Morfologia de conídios e patogenicidade de isolados de *Exserohilum turcicum* da Argentina e do Brasil em milho. Summa Phytopathologica 41(1): 58-63.
- Dowswell, C.D., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. Maize in the third world. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- Drechsler, C. 1923. Some graminicolous species of *Helminthosporium*: I. J. Agric. Res. 24: 641-739.
- Elliot, C.H. & Jenkins, M.T. 1946. *Helminthosporium turcicum* leaf blight of corn. Phytopathology 36: 660.
- Ellis, M.B. 1971. Dematiaceous hyphomycetes. Kew: CAB, pp. 608.
- Falconer, D. S. & Mackay, T. F. C. 1996. Introduction to Quantitative Genetics, 4th Edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice hall.
- Fallah Moghaddam, P. & Pataky, J.K. 1994. Reactions of isolates from matings of races 1 and 23 N of *Exserohilum turcicum*. Plant Dis. 78: 767-771.
- Fancelli, A.L. 1988. Influencia do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). Tese de Doutorado. Piracicaba. ESALQ/USP, pp. 172.
- FAO. 2019. Food and agriculture organisation of the United Nations. www.faostat.fao.org.
- FAO/GIEWS. 2019. Food and agriculture organisation of the United Nations (FAO). Global information and early warning system on food and agriculture. (GIEWS).
- Fernandes, M.C.A & Balmer, E. 1991. Seleção recorrente fenotípica e níveis de resistência a *Exserohilum turcicum* em progênies de milho. Fitopatologia brasileira 16: 190-196.

- Fernandes, M.C.A & Balmer, E. 2002. Variabilidade de isolados de *Exserohilum turcicum* em cultivares de milho (*Zea mays* L.). Revista Universidade federal rural do Rio de Janeiro. Rural, Serie, Ciências da Vida 22(1): 01-05.
- Fernández Valiela, M.V. 1978. Introducción a la Fitopatología. Colección científica del INTA. Tomo VII, Vol. III, Hongos, 3ª Ed., pp. 779, Buenos Aires, Argentina.
- Fernández, F.T. & Oliveira, E. 1997. Principais doenças na cultura do milho. Sete lagoas: Embrapa-CNPMS, pp. 80. Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 26.
- Fernández, M.R. 1993. Manual para laboratório de fitopatologia. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, pp. 128. EMBRAPA-CNPT. Documentos 6.
- Fisher, K.S. & Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. In: Goldsworthy, P.R. & Fisher, N.M. (Ed). The physiology of tropical fiel crops. Wiley, pp. 231-248.
- Forcelini, C.A. & Reis, E.M. 1997. Doenças da aveia. En: Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A. & Rezende, J.A.M. Manual de fitopatologia, Vol. 2: Doenças deplantas cultivadas. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, pp. 105-111.
- Formento, A.N. 2010. Enfermedades foliares reemergentes del cultivo de maíz: Royas (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), Tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) y Mancha ocular (*Kabatiella zae*). INTA Paraná, Argentina, 30-01-2016, <<http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-enfermedades-foliares-reemergentes-del-cultivo-d.pdf>>
- Fowler, M. 1985. Diseases of maize in New Zealand. Maize: Management to market symposium, Agronomy Society of New Zealand, Hamilton, August 1984, pp. 59-64.
- Frederiksen, R.A. & Odvoy, G.N. 2000. Compedium of sorghum diseases. American Phytopathology Society, pp. 78.
- Frederiksen, R.A. 1991. Compedium of Sorghum Diseases. American Phytopathology Society, St. Paul, pp. 82.
- Frosi, J.F. & Balmer, E. 1980a. Reações de linhagens de milho a *Helminthosporium turcicum* Pass., em casa-de-vegetação. Fitopatologia Brasileira 5: 229-238.
- Frosi, J.F. & Balmer, E. 1980b. Reações de linhagens de milho a *Helminthosporium turcicum* Pass., em condições de campo. Fitopatologia Brasileira 5: 239-244.

- Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley (Eds.) Corn and corn improvement, 3rd ed., pp. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Gianasi, L.; de Castro, H.A. & da Silva, H.P. 1996. Raças fisiológicas de *Exserohilum turcicum* identificadas em regiões produtoras de milho no Brasil, safra 93/94. Summa Phytopathologica 22: 214-217.
- Gonzalez, A.J. & Gonzalez-Varela, G. 2007. Ensayo in vitro de fungicidas frente a *Exserohilum turcicum*, agente causal del tizón norteño del maíz, en Asturias. Bol. San. Veg. Plagas, 33: 289-295.
- Guerra, G.D. & De Rossi, R.L. 2010. Panorama Sanitario del cultivo de Maíz en la Región centro norte de Córdoba, Jornada de Actualización Técnica de Cultivos de Verano - CREA - Campaña 2009/2010, pp. 34-36.
- Harlapur, S.I.; Wali, M.C.; Anahosur, K.H. & Muralikrishna, S. 2000. A report on survey and surveillance of maize diseases in northern Karnataka. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 13: 750-751.
- Harlapur, S.I. 2005. Epidemiology and management of Turcicum leaf blight of maize caused by *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs. Doctoral Thesis. Dharwad University of Agricultural Sciences, Dharwad, India.
- Heidrich Sobrinho, E. & Hermes, M.T.L. 1981. Studies of genetic resistance to and virulence of *Trichometasphaeria turcica* Lutt in corn. Revista Brasileira de Genética 4: 17-28.
- Hilu, H. M. & Hooker, A. L. 1963. Monogenic chlorotic lesion resistance to *Helminthosporium turcicum* in corn seedlings. Phytopathology 53: 909-912.
- Hilu, H. M. & Hooker, A. L. 1964. Host-pathogen relationship of *Helminthosporium turcicum* in resistant e susceptible corn seedlings. Phytopathology 54(5): 570-575.
- Hilu, H. M. & Hooker, A. L. 1965. Localized infection by *Helminthosporium turcicum* on corn leaves. Phytopathology, 55: 189-192.
- Hooker, A.L. & Perkins, J.M. 1980. Helminthosporium leaf blights of corn – the state of the art. Proceedings of the third-fifth annual corn and sorghum research conference, Chicago, pp. 68-87.
- Hooker, A.L. & Tsung, Y.K. 1980. Relationship of dominant genes in corn for chlorotic-lesion resistance to *Helminthosporium turcicum*. Plant. Dis. 64: 387-388.

- Hooker, A.L. 1961. A new tipe of resistant in corn to *Helminstosporium turcicum* leaf blight of corn. Plant diseases Rep. 45: 670-671.
- Hooker, A.L. 1963. Inheritance of chlorotic-lesion resistance to *H. turcicum* in seedling corn. Phytopathology 53: 660-662.
- Hooker, A.L. 1977. A second major gene locus in corn for chlorotic-lesion resistance to *Helminthosporium turcicum*. Crop Science 17: 132-135.
- Hughes, G.R. & Hooker, A.L. 1971. Gene action conditioning resistance to northern leaf blight in maize. Crop Science 11:180-184.
- Hurni, S.; Scheuermann, D.; Krattinger, S. G.; Kessel, B.; Wicker, T.; Herren, G., *et al.* 2015. The maize disease resistance gene Htn1 against northern corn leaf blight encodes a wall-associated receptor-like kinase. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 112, 8780–8785. doi: 10.1073/pnas.1502522112.
- IDIA. 1969. Inf. Invest. Agric. INTA, Buenos Aires. 222: 26. En: Fernández Valiela, M.V. Introducción a la fitopatología. Colección científica del INTA. Tomo VII, Vol. III, Hongos, 3ª ed., pp. 779, Buenos Aires, Argentina.
- Ittis, H.H. 1983. From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation. Science, 222: 886-894.
- Issa, E. 1983. Controle químico de *Helminthosporium turcicum* Pass. em milho pipoca, *Zea mays* L. Biológico, Campinas 49(2): 41-43.
- Jannink, J. L. L., Lorenz, A. J., & Iwata, H. 2010. Genomic selection in plant breeding: from theory to practice. Brief. Funct. Genomics 9, 166–177. doi: 10. 1093/bfpg/elq001
- Jenkins, M.T. & Robert, A.L. 1952. Inheritance of resistance to the leaf of corn cuased by *Helminthosporium turcicum*. Agron. Journal 44: 136-140.
- Jinjikhadze, Z. 2001. Maize cultivation and production in Georgia. In: Srinivasan, M.; Karabayev, M. & Bedoshvili, D. (Eds.), Maize Production and Improvement in Central Asia and Caucasus, CIMMYT, Almaty, Kazakhstan, pp. 25-28.
- Jordan, E.G.; Perkins, J.M.; Schall, R.A. & Pedersen, W.L. 1983. Ocurrance of race 2 of *Exserohilum turcicum* on corn in the central and eastern United States. Plant Dis. 67: 1163-1165.

- Kamikoga, A.T.M.; Salgado, C.L. & Balmer, E. 1991. Reactions of different populations of popcorn (*Zea mays*) to *Helminthosporium turcicum*. Summa Phytopathologica 17: 100-104.
- Keissar, H.; Bashan, B.; Levy, Y. & Kenigsbuch, D. 2002. Stage specificity of catalase isoform activity in *Exserohilum turcicum*. Physiol. Mol. Plant Pathology 60: 163-168.
- Khatri, N.K. 1993. Influence of temperature and relative humidity on the development of *Helminthosporium turcicum* on maize in western Georgia. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology 23: 35-37.
- Knox-Davies, P. 1974. Penetration of maize leaves by *Helminthosporium turcicum*. Phytopathology 64: 1468-1470.
- Kodsueb, R.; Dhanasekaran, V.; Aptroot, A.; Lumyong, S.; McKenzie, E.; Hyde, K. & Jeewon, R. 2006. The family Pleosporaceae: intergeneric relationships and phylogenetic perspectives based on sequence analyses of partial 28S rDNA. Mycologia 98: 571-583.
- Kranz, J. 1990. Epidemics of plant diseases: mathematical analysis and modeling. New York: Springer Verlag, 1990. v.2.
- Laxminarayana, C. & Shankarlingam, S. 1983. Turcicum leaf blight of maize, techniques of scoring for resistance to important diseases of maize. Proceedings of All India Coordinated Maize Improvement Project, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, pp. 16-24.
- Leach, C.M.; Fullerton, R.A. & Young, K. 1977. Northern leaf blight of maize in New Zealand: Relationships of *Drechslera turcica* airspora to factors influencing sporulation, conidium development, and chlamydospore formation. Phytopathology 67: 629-636.
- Leath, S. & Pedersen, W.L. 1983. An inoculation technique to detect the HtN gene in inbred lines of corn under greenhouse conditions. Plant Dis. 35: 520-522.
- Leonard, K.J. & Suggs, E.G. 1974. *Setosphaeria prolata* is the ascigenous state of *Exserohilum prolata*. Mycologia, 66: 181-297.
- Leonard, K.J.; Levy, Y. & Smith, D.R. 1989. Proposed nomenclature for pathogenic races of *Exserohilum turcicum* on corn. Plant Dis. 73: 776-777.
- Leonard, K.J.; Thakur, R.P. & Leath, S. 1988. Incidence of *Bipolaris* and *Exserohilum* species in corn leaves in North Carolina. Plant Dis. 72: 1034-1038.

- Levy, Y. & Cohen, Y. 1983a. Biotic and environmental factors affecting infection of sweet corn with *Exserohilum turcicum*. *Phytopathology* 73: 722-725.
- Levy, Y. & Cohen, Y. 1983b. Differential effect of light on spore germination of *Exserohilum turcicum* on corn leaves and corn leaf impressions. *Phytopathology* 73: 249-252.
- Levy, Y. 1989. Analysis of epidemics of northern leaf blight on sweet corn in Israel. *Phytopathology* 79: 1253-1255.
- Levy, Y. 1991. Variation in fitness among field isolates of *Exserohilum turcicum* in Israel. *Phytopathology* 75: 163-166.
- LfL. 2015. Blattfleckenkrankheiten an Mais. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, viewed 10 November 2018, <http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte/030221/>
- Lim, S.M., Kinsey, J.G. & Hooker, A.L. 1974. Inheritance of virulence in *Helminthosporium turcicum* to monogenetic resistance in corn. *Phytopathology* 64: 1150-1151.
- Lipps, P.E & Mills, D. 2002. Northern corn leaf blight. Extension fact sheet. OH-43210-1087. Ohio State University.
- Luttrell, E.S. 1958. The perfect state of *Helminthosporium turcicum*, *Phytopathology* 48: 281-287.
- MAGyP. 2019. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Dirección de Información Agrícola y Forestal. Buenos Aires, Argentina.
- Mahamood, A.; Javed, N.; Ahmad, R. & Raheel, Z.I. 1995. Biological control of maize leaf blight caused by *Helminthosporium turcicum* Pass *in vitro*. *Pakistan Journal of Phytopathology* 7: 62-64.
- Mainka, C.; Ortega, V. & Schulte, M. 2012. Breeding for *Helminthosporium turcicum* leaf disease resistance in early maize. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung "Pflanzenschutz – alternativlos", Braunschweig, 10-14 September.
- Malca, I. & Ullstrup, A.J. 1962. Effects of carbon and nitrogen nutrition on growth and sporulation of two species of *Helminthosporium*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 89:
- March, G.J.; Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2012. Análisis del progreso de epidemias y pérdidas que causan. Manual Curso de Especialización en Protección Vegetal. Universidad Católica de Córdoba, pp. 86.

- Martin, T. 2011. *Setosphaeria turcica*, fungal mating and plant defense. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Masias, O.R. & Bergquist, R.R. 1974. Host-specific forms of *Trichometasphaeria túrcica* in relation to homokaryons and heterokaryons in nature. *Phytopathology* 64: 436-438.
- Maude, R.B. 1988. Achievements and objectives in research on seed-borne diseases of vegetables. In: Nasser, L.C., Wetzell, M.M. & Fernandes, J.M. (Eds.) *Proceedings, Seed Pathology International Advanced\course*. Brasília, ABRATES. Part 4, pp. 267-275.
- McDonald, A. B. & Linde, C. 2002. Pathogen population genetics, evolutionary potential and durable resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 40: 349-379. doi: 10.1146/annurev.phyto.40.120501.101443
- McNew, G. L. 1960. The nature, origin and evolution of parasitism. In: Horsfall, J.G. & Dimond, A. E. Eds. *Plant Pathology*, 2: 2-66, New York, Academic Press.
- Meredith, D.S. 1966. Airborne conidia of *Helminthosporium turcicum* in Nebraska. *Phytopathology* 56: 949-952.
- Micca, M. V.; Andrada, N. R. & Larruse, A. S. 2015. Analisis explotartorio espacial de tizón común *Exserohilum turcicum* (Leonars & Suggs) en estratos foliares de maíz, en Villa Mercedes, San Luis. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 14 (2) 2015. ISSN 1666-7719.
- Miedaner, T. 2016. "Breeding strategies for improving plant resistance to diseases," in *Advances in Plant Breeding Strategies: Agronomy, Abiotic and Biotic Stress Traits*, eds J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, and D. V. Johnson (Cham: Springer International Publishing), 561–599. doi: 10.1007/978-3-319-22518-0.
- Moghaddam, P. & Pataky, J. 1994. Reactions of isolates from matings of races 1 and 23N of *Exserohilum turcicum*. *Plant Dis.* 78: 767-771.
- Muchovej, J.J.; Muchovej, R.M.C. & Ribeiro-Nesio, M.L. 1988. Taxonomia de *Drecheslera*, *Bipolaris* e *Exserohilum*. *Fitopatologia Brasileira* 13: 211-224.
- Muiru, W. 2008. Histological studies and characterization of races of *Exserohilum turcicum* the causal maize agent of northern leaf blight of maize in Kenya. PhD thesis. University of Nairobi, Kenya.
- Mycobank. 2019. Database. CBS-KNAW, Utrecht, viewed 10 April 2019, <http://www.mycobank.org/Biolomics.aspx?Table=Mycobank>

- Nakamura, A.M. & Gimenes-Fernandes, N. 1993 Obtenção de esporos de *Bipolaris* e de *Exserohilum* em meio de cultura. *Summa Phytopathologica* 19:38.
- Narayan, S.C.; Chakraborty, M.; Ekka, S.; Prasad, K.; Chakravarty, M.K.; Tudu, V.K.; Das, S.S.; Mahto, M. & Sah, R.P. Screening of maize hybrids (*Zea mays* L.) against the severity of Turcicum leaf blight. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8(6): 559-562.
- Nwanosike, M. R.; Mabagala, R.B. & Kusolwa, P.M. 2015. Disease intensity and distribution of *Exserohilum turcicum* incitant of northern leaf blight of maize in Tanzania. *International Journal of Pure and Applied Bioscience* 3(5): 1-13.
- Obi, I.U., Hooker, A.L. & Lim, S.M. 1980. Phytoalexin production in corn resistant to three species of *Helminthosporium* fungi. *Phytopathology* 70: 228-236.
- Paliwall, R.L.; Granados, G.; Lafitte, H.R.; Violic, A.D. & Maratheé, J.P. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Dirección de Información, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Viale delle Terme di Caracalla, Roma, Italia.
- Pammel, N.B.; Kink, D.N. & Bakke, A.K. 1910. Two barley blights. *Bulletin Stav. Pat.Veg. Deva*, 21: 1-62.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. *Phytopathology* 82: 370-375.
- Patil, S.J.; Wali, M.C.; Harlapur, S.I. & Prashanth, M. 2000. Maize Research in north Karnataka. *Bulletin, University of Agricultural Sciences, Dharwad*, pp. 54.
- Patterson, E.B.; Hooker, A.L. & Hagan, W.L. 1963. Location of a dominant gene in maize for resistance to *Helminthosporium turcicum*. *Maize Gent. Coop. News Letter*, 37:45.
- Pedersen, W.L. 1984. Field evaluation of maize inbreds and population selections to *E. turcicum*. *Phytopathology*, 74: 818.
- Pelmus, V.; Crain, D. & Craciud. 1986. Effect of some ecological factors on *Helminthosporium turcicum* on successive maize crop problem. *Protectia-Pkntelor*, 14: 119-132.
- Pereira, O.A.P. 1995. Análise da situação atual de doenças de milho no Brasil e disponibilidade de germoplasma resistente. *Summa Phytopathologica*, 21: 1.

- Pereira, O.A.P.; Silva, H.P. & Rezende, I.C. 1993. Perda de produção de milho causada por *Exserohilum turcicum* Pass. Leonard & Suggs. Fitopatologia Brasileira 18: 333.
- Perkins, J.M. & Pedersen, W.L. 1987. Disease development and yield losses associated with northern leaf blight on corn. Plant Disease, St. Paul, MN, 71: 940-943.
- Pingali, P. & Pandey, S. 2001. World maize needs meeting: Technological opportunities and priorities for the public sector. In: CIMMYT 1999-2000 World maize facts and trends. Meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector. P.L. Pingali (Ed), pp. 7-10. CIMMYT, Mexico.
- Pingali, P.L. & Heisey, P.W. 1996. Cereal crop productivity in developing countries: past trends and future prospects. In Proc. Conf. Global Agric. Sci. Policy for the 21st Cent., Melbourne, Australia, pp. 51-94.
- Pinto, N.F.J. 1996. Tratamento com fungicidas de sementes de milho. In: Soave, J.; Oliveira, M.R.M. & Menten, J.O.M. (ed.) Tratamento químico de sementes. Campinas: Fundação Cargil, pp. 52-57
- Pinto, N.F.J. 1997. Eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares de milho. Summa Phytopathologica 23: 271-274.
- Quezado-Soares, A.M. & Lopes, C.A. 1993. Produção de grãos de milho-pipoca sob diferentes níveis de infecção por *Exserohilum turcicum*. Fitopatologia Brasileira. 18: 506-511.
- Rahman, M.A.; Begum, L.A.; Alam, K.B. & Khan, A.L. 1993. Efficacy of fungicides to control turcicum leaf blight of maize. Bangladesh Journal of Plant Pathology, 9: 35-36.
- Ramathani, I.; Biruma, M.; Martin, T.; Dixelius, C. & Okori, P. 2011. Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. Eur. J. Plant Pathol. DOI: 10.1007/s10658-011-9815-1.
- Raymundo, A.D. & Hooker, A.L. 1981. Measuring the relationship between northern corn blight and yield losses. Plant Dis. 65: 325-327.
- Reeves, R.G. & Mangelsdorf, P.C. 1942. A proposed taxonomic change in the tribe Maydeae. Am. J. Bot., 29: 815-817.
- Reis, E.M.; Casa, R.T. & Bresolin, A.C. 2004. Manual de diagnose e controle de doenças do milho. 2ed. Rev. Atual. Lages: Graphel, pp. 144.

- Robeson, D. & Strobel, G. 1982. Monocerin, a phytotoxin from *Exserohilum turcicum* (= *Drechslera turcica*). Agric. Biol. Chem. 46: 2681-2683.
- Romero, L.R. 2016. Ocurrence and importance of foliar diseases on maize (*Zea mays* L.) in central Europe. Thesis Doctoral. Faculty of Agricultural Sciences, Georg-August-University Göttingen, Germany. Göttingen, May 2016.
- Sillón, M. 2013. Principales enfermedades fúngicas del maíz. Reconocimiento y recomendaciones de manejo. Horizonte A. Horizonte A digital. ISSN: 1668-3072.
- Schechert, A., Geiger, H. H., & Welz, H. G. 1997. "Generation means and combining ability analysis of resistance to *Setosphaeria turcica* in African maize," in Maize Productivity Gains Through Research and Technology Dissemination. Proceedings of the Fifth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference, eds J. K. Ransom, A. F. E. Palmer, B. T. Zambezi, Z. O. Mduruma, S. R. Waddington, K. V. Pixley, et al. (Arusha: CIMMYT), 212–218.
- Shah, D.A. & Dillard, H.R. 2006. Yield loss in sweet corn caused by *Puccinia sorghi*: A meta-analysis. Plant Dis. 90(11): 1413-18.
- Sharma, J.P. & Mishra, B. 1988. Effect of spray schedule of mancozeb on turcicum leaf blight and impact on grain yield in maize. Indian Journal of Plant Protection 16: 189-193.
- Sharma, R.C., Rai, S.N. & Batsa, B.K. 2005. Identifying resistance to banded leaf and sheath blight of maize. Indian Phytopathology 58: 121-122.
- Shivankar, S.K. Shivankar, R.S. 2000. Losses in grain yield due to turcicum leaf blight disease in maize. Agricultural Science Digest 20: 201-202.
- Shoemaker, R.A. 1959. Nomenclature of *Drechslera* and *Bipolaris* grass parasites segregated from "*Helminthosporium*". Canadian Journal Botany 37: 879-887.
- Shree, M.P. & Luke, P. 1983. Inability of *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leo. Ex Sug. to survive as a saprophytic in soil in-situ. Plant and Soil, 74: 141-144.
- Shurtleff, M.C. 1973. Compendium of Corn Disease. First Edition. The American Phytopathology, pp. 105.
- Shurtleff, M.C. 1992. Compendium of Corn Diseases. American Phytopathological Society, 1992, pp. 105.

- Sinavesan, A. 1987. Graminicolous species of *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Exserohilum* and their teleomorphs. Mycological Papers, n° 158, Kew, I.M.I. C.A.B.
- Singh, R.D.N. & Kaiser, S.A. 1989. Seed treatment with bavistin and vitavax on the incidence of turicum leaf blight of maize at pre-tassel stage. Indian Journal of Mycological Research, 27: 31-35.
- Smith, B.D. 1995. The emergence of agriculture. Scientific American Library, New York.
- Soares, A.M.Q.; Fonseca, M.E.N. & Lopes, C.A. 1993. Caracterização cultural, grupos de compatibilidade e padrões isoenzimáticos de isolados de *Exserohilum turcicum* obtidos de milho (*Zea mays*). Fitopatol. Brás. 18: 219-225.
- Stangarlin, J.R. & Pascholati, S.F. 1994. Proteção de plântulas de milho pipoca contra *Exserohilum turcicum* pelo uso de *Saccharomyces cerevisiae*. Summa Phytopathologica 20: 16-21.
- Taken, J.P.; Adipala, L. & Ogenga-Latigo, M.W. 1994. Northern leaf blight progress and spread from infested maize residue. African Crop Sciences Journal 2: 197-205.
- Tenuta, A. & Zhu, X. 2012. Disease survey of seed and commercial corn in Ontario and Quebec 2012. Crop advances: Field crop Reports. Ontario Soil and Crop Improvement Association, Guelph, ON, viewed 8 February 2018, <http://www.ontariosoilcrop.org/wp-content/uploads/2015/07/v9crpadv_cor22012_disease_survey_of_seed_and_commercial_corn_in_ontario_and_quebec.pdf>
- Thakur, R.P.; Leonard, K.J. & Leath, S. 1989. Effects of temperature and light on virulence of *Exserohilum turcicum* on corn. Phytopathology. St. Paul 79: 631-635.
- Treikale, O.; Javoisha, B.; Pugacheva, E.; Vigule, Z. & Feodorova-Fedotova, L. 2014. Northern leaf blight *Helminthosporium turcicum* on maize in Latvia. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences 79(3): 481-85.
- Tuite, J. 1969. Media and nutrient solutions. In: Tuite, J., ed. Plant pathological methods. Mineapolis: Burgess Publishing, pp. 239.
- Turner, M.T. & Johnson, E.R. 1980. Race of *Helminthosporium turcicum* not controlled by Ht genetic resistance in corn in the American Corn Belt. Plant Dis. 64: 216-217.
- Ullstrup, A.J. 1941. Two physiologic races of *Helminthosporium maydis* in the Corn Belt. Phytopathology 31: 508-521.

- Ullstrup, A.J. 1963. Sources of resistance to northern corn leaf blight. *Plant Disease Rep.* 47:107-108.
- Ullstrup, A.J. 1966. Corn diseases in the United States and their control. *Agriculture Handbook* Nº 199, United States, Department of Agriculture, pp. 26.
- Ullstrup, A.J. 1970. A comparison of monogenic and polygenic resistance to *Helminthosporium turcicum* in corn, *Phytopathology* 60: 1597-1599.
- Ullstrup, A.J. 1974. Corn diseases in the United States and their control. Washington: USDA/Agriculture Research Service, pp. 56.
- USDA-FAS. 2019. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Services. <http://www.fas.usda.gov>.
- Vale, R. F.X.; Cintra de Jesus, W. & Zambolin, L. 2004. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte. Editora Perffil. ISBN: 85-89800-02-4. pp. 243-270.
- Vitti, A.J.; Bergamin-Filho, A. & Amorim, L. 1993. Epidemiologia comparativa entre ferrugem comum e a helmintosporiose do milho. *Fitopatologia Brasileira* 18:314.
- Vitti, A.J.; Bergamin-Filho, A.; Amorim, L. & Fegies, N. C. 1995. Epidemiologia comparativa entre ferrugem comum e a helmintosporiose do milho. I: Efeito de variáveis climáticas sobre os parâmetros monocíclicos. *Summa Phytopathologica* 21: 127-130.
- Wang, X.; Zhang, Y.; Xu, X.; Li, H.; Wu, X.; Zhang, S. & Li, X. 2014. Evaluation of maize inbred lines currently used in Chinese breeding programs for resistance to six foliar diseases. *The Crop Journal* 2(4): 213-22.
- Watson, A. & Napier, T. 2006. Managing northern leaf blight in processing sweet corn. NSW Department of Primary Industries. Project No: VG02115. Horticultural Australia Ltd, Sydney.
- Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, 1st ed., pp. 1-16. New York, NY, USA, Academic Press.
- Welz, H. G. 1998. Genetics and Epidemiology of the Pathosystem *Zea mays* / *Setosphaeria turcica*. Habilitation thesis, University of Hohenheim, Stuttgart.

- Welz, H.G. & Geiger, G.G. 1993. Virulence variation in *Setosphaeria turcica* populations collected from maize in China, Mexico, Uganda and Zambia. *Phytopathology* 83: 1356.
- White, D.G. 1999. Compendium of Corn Diseases. Third edition. The American Phytopathological Society, APS Press, St Paul, Minnesota, USA, pp. 78.
- Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.* 6(1): 1-18.
- Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, 30: 209-223.
- Wilkes, H.G. 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. In D.R. Harris & G.C. Hillman, (eds.) *Forage and Farming*, pp. 440-454. London, Unwin Hyman.
- Windes, J.M. & Pedersen, W.L. 1991. An isolate of *Exerohilum turcicum* virulent on maize inbreds with resistance gene HtN. *Plant Dis.* 75: 430.
- Wise, K. 2013. Diseases of corn: Corn disease loss estimates from the United States and Ontario, Canada - 2013. BP-96-13-W. Purdue University Extension, West Lafayette, IN.
- Wise, K. 2014. Diseases of corn: Corn disease loss estimates from the United States and Ontario, Canada - 2014. BP-96-14-W. Purdue University Extension, West Lafayette, IN.
- Wise, K. 2015. Diseases of Corn: Fungicide efficacy for control corn diseases. BP-160-W. Purdue University Extension, West Lafayette, IN.
- Zambolim, L. 2004. Importância do tratamento de sementes no manejo integrado de doenças. In: Simposio Brasileiro de Patologia de sementes, João Pessoa, Palestras e resumos. João Pessoa: Tropical Hotel Tambú, pp. 94-100.
- Zang, L.; Dong, J.; Wang, C. & Li, Z.P. 2007. Purification and structural analysis of a selective toxin fraction produced by the plant pathogen *Setosphaeria turcica*. *Agricultural Sciences in China*, 6: 452-457.
- Zellner, M. 2012. Blattfleckenkrankheiten an Mais. *Mais*, pp. 123-125.

CAPITULO I

GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE SANIDAD DE MAÍZ Y CARACTERIZACIÓN DE LA OCURRENCIA, DISTRIBUCIÓN E IMPORTANCIA DEL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL MAÍZ (*Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS) EN EL CENTRO NORTE DE CÓRDOBA

GENERATION OF A CORN HEALTH DATABASE AND CHARACTERIZATION OF THE OCURRENCE, DISTRIBUTION AND IMPORTANCE OF NORTHERN LEAF BLIGHT (*Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS) IN THE CENTRAL NORTH OF CÓRDOBA

RESUMEN

Favorecido por la utilización de materiales susceptibles, mayor proporción de maíz en las rotaciones, así como por la gran adopción de fechas de siembra tardías en siembra directa, el tizón foliar común del maíz (TFC), causado *E. turcicum*, alcanzó gran relevancia en la sanidad del cultivo durante la última década en la región centro norte de Córdoba. El objetivo de este trabajo fue recopilar, organizar y almacenar en una base de datos información obtenida durante diez años de trabajos realizados sobre sanidad del cultivo de maíz por el Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba, para así desarrollar mediante diferentes enfoques epidemiológicos, herramientas de manejo para el TFC. De esta manera, se acomodó la información recopilada, creando una base de datos de Sanidad de Maíz que permitió caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del TFC en el centro norte de Córdoba a través de diez años evaluados entre 2007-08 y 2016-7 en un total de 86 ensayos. En cinco campañas agrícolas (2007-08, 2009-10, 2010-11, 2013-14 y 2014-15) se registraron severidades finales (SF) promedio del TFC ≥ 10 % en diferentes localidades. En 38 ensayos, que representaron el 45 % de los ensayos totales, se registraron SF entre 5 y 95 %, situación que permitió estudiar el patosistema bajo diferentes condiciones de intensidad de la enfermedad. La variable Genética (reacción frente a TFC) aportó el 58,8 % de la variabilidad registrada entre genotipos ($p < 0,05$), siguiendo en importancia la variable Fecha de Siembra que aportó 7,5 % y la variable Fenómeno ENSO que aportó 1,6 % de la variabilidad entre casos ($p < 0,05$). Las regiones próximas a Villa María y Villa María de Río Seco fueron donde se registraron las mayores SF (80 y 95 %, respectivamente). Los daños promedios ocasionados por el TFC fueron de 600 kg ha⁻¹, lo que representó el 6,9 % promedio de disminución de rendimiento y los máximos oscilaron entre 20,1 y 52,5 %, siendo las pérdidas económicas promedio de 67,2 USD ha⁻¹ (34,8-148,3). La adopción media de uso de fungicida fue del 18 %, siendo la eficiencia de control entre 80 y 89 % cuando las aplicaciones se realizaron con severidades $< 1,5$ % y entre 50 y 70 % cuando se aplicó con severidades superiores. La base de datos generada queda disponible para futuros trabajos de investigación. Por lo tanto, este trabajo determinó variables agronómicas y ambientales que ayudan a comprender el desarrollo del TFC en la región, describiendo su distribución y ocurrencia, así como los daños y pérdidas que genera en el centro norte de Córdoba, lo que constituye información de base para delinear estrategias de manejo de este patosistema.

Palabras claves: helmintosporiosis, *Zea mays*, epidemiología, daños, pérdidas

ABSTRACT

Northern corn leaf blight (NCLB), caused by the fungus *E. turcicum*, has become a serious concern for corn crop health due to the use of susceptible materials, increased proportion of corn in rotation schemes, and the frequent adoption of late sowing dates in direct seeding. The aim of this work was to compile, organize and store in a database information about corn crop health obtained during 10 years of works by the Phytopathology Laboratory of the Catholic University of Córdoba, and therefore to develop management tools for NCLB using different epidemiological approaches. Thus, the information compiled during 10 years was accommodated in a database of Corn Health that was used to characterize the occurrence, distribution and importance of NCLB in the central-northern region of Córdoba over 10 years of study between 2007-08 and 2016-17, in a total of 86 assays. Mean final NCLB severity (FS) values of ≥ 10 % were recorded in different localities in five crop seasons (2007-08, 2009-10, 2010-11, 2013-14 and 2014-15). In 38 assays, which accounted for 45 % of all the assays, FS values between 5 and 95 % were recorded; these results allowed us to study this pathosystem under different conditions of disease intensity. The variable Genetics (response to NCLB) contributed 58.8 % of the recorded variability among genotypes ($p < 0.05$), followed by the variable Sowing Date, with 7.5 %, and the variable ENSO phenomenon, with 1.6% of the variability among assays ($p < 0.005$). The highest FS values were recorded in areas near Villa María and Villa María de Río Seco (80 and 95 %, respectively). Mean damage caused by NCLB was 600 kg ha⁻¹, which represented a mean of 6.9 % of yield reduction, with maximum losses ranging between 20.1 and 52.5 %, and mean economic losses of 67.2 USD ha⁻¹ (34.8-148.3). Mean adoption of fungicide use was 18 %, with control efficiency ranging between 80 and 89 % when applications were made at severities < 1.5 %, and between 50 and 70 % at higher severities. The generated database is available for future research works. Thus, this work determined different agronomic and climatic variables that help to understand the development of NCLB in the region, and described distribution and occurrence of NCLB, as well as the damage and losses it causes in central-northern Córdoba, providing baseline information to design management strategies for this pathosystem.

Keywords: Northern corn leaf blight, *Zea mays*, epidemiology, damage, economic losses

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo estratégico para Argentina; según el Informe de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires (BCBA, 2019), durante la campaña 2018-19 se sembraron más de 6 millones de hectáreas, generando 57 millones de toneladas de maíz, con un promedio nacional de 8280 kg ha⁻¹ de producción, que contribuyó con más de 10 mil millones de dólares al Producto Bruto Interno (PBI) de Argentina. Además, destaca que el 55 % de las hectáreas de maíz implantadas fueron realizadas en siembras tardías (consideradas así, las sembradas desde la última semana de noviembre en adelante). La región centro norte de Córdoba fue la región argentina que mayor superficie sembró en fechas tardías, con 870 000 hectáreas. Considerando además las regiones centro y sur, la provincia de Córdoba se posicionó como la de mayor producción nacional, y la octava en orden internacional (BCBA, 2019).

En Argentina, el desarrollo y adopción de nuevas tecnologías de producción agrícola, como la incorporación masiva de sistemas de labranza conservacionista, son factores fundamentales para la aparición de nuevas enfermedades que afectan a los cultivos extensivos, entre ellos al maíz. Estos sistemas permiten la presencia de rastrojo en superficie y de plantas voluntarias, que en general son sustrato para la sobrevivencia de patógenos. Por otro lado, las siembras tardías de maíz que permiten estabilizar el rendimiento (por realizarse en períodos de menores probabilidades de sufrir estreses ambientales), transcurren bajo condiciones ambientales que favorecen la emergencia y reemergencia de enfermedades (Formento, 2018).

Entre las distintas enfermedades que afectan al cultivo de maíz, el tizón foliar común (TFC), causada por el hongo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs [sinónimo: *Helminthosporium turcicum* Pass.], forma anamórfica de *Setosphaeria turcica* (Luttr.) K.J. Leonard & Suggs (Frederiksen, 1991), presenta una alta prevalencia, con incidencia y severidad creciente en los últimos años en Argentina (Couretot *et al.*, 2010). La misma es considerada como una de las enfermedades foliares más importantes del cultivo, provocando reducciones significativas en la productividad (> 30 %) (Nwanosike *et al.*, 2015).

La epidemiología, dentro de las diversas áreas de la Fitopatología, se destaca por analizar los efectos y la importancia de variables cuantitativas para describir y entender la dinámica de epidemias de enfermedades de plantas (Kranz, 1990). El entendimiento de los procesos relacionados al desarrollo de enfermedades de plantas está fuertemente ligado al conocimiento de las poblaciones de patógenos y de hospedantes, así como los factores del ambiente e interacciones resultantes (Vale *et al.*, 2004). Un análisis preciso de la ocurrencia de epidemias puede contribuir a definir estrategias en los programas de mejoramiento genético y en la adopción de técnicas de manejo adecuadas. Es necesario un mejor conocimiento de las enfermedades del maíz, incluyendo aquellas que aparentan ser

insignificantes, muchas de ellas de menor importancia en el pasado, se convierten en limitantes de la producción y constituyen una nueva amenaza para el cultivo. A nivel mundial, en los últimos 30 años más de 15 enfermedades del maíz, incrementaron su importancia (Teyssandier, 2005).

Según Kranz (1990), para el análisis de epidemias es fundamental el estudio del sistema epidemiológico, donde se profundice en el conocimiento de los componentes del mismo: patógeno, hospedante y ambiente. Esto debe ser realizado por medio de experimentos holísticos en el campo, estudios en condiciones controladas, análisis estadísticos y matemáticos, tanto sencillos como sofisticados, que hacen posible el desarrollo de tácticas y estrategias de manejo de las enfermedades, que sean viables y prácticas para los agricultores, tornando la producción agropecuaria más eficiente, económica y sustentable. El objetivo final es crear procedimientos y medidas que sean viables y puedan ser de uso práctico y efectivo por los agricultores.

En cualquier sistema de estudio, es de fundamental importancia generar una base de datos, y específicamente en el área de la epidemiología es complicado acceder a bases de datos confiables, que además contengan información completa sobre el sistema epidemiológico de un patosistema, dónde se incluyan datos tanto del clima como del hospedante y del patógeno. Sin embargo, otras áreas de la fitopatología como la molecular, dispone de diferentes bases de datos que contienen gran cantidad de información específica. Estas bases de datos biológicos son archivos consistentes que almacenan de manera uniforme y eficiente información de un amplio espectro de áreas de la biología molecular, dando lugar a una nueva área interdisciplinaria de la ciencia que se conoce como bioinformática (Xiong, 2009).

Una base de datos es un conjunto de datos o información registrada y estructurada con un orden no definido y sin un objeto de estudio definido, la cual posee gran cantidad de datos, normalmente no tiene un orden lógico, no presenta componentes analíticos y puede ser uni o multi variada. Por otro lado, una matriz de datos es un conjunto de informaciones o registros propiamente resumidos y estructurados con un objeto de estudio definido, para responder un cuestionamiento general de investigación. Contiene únicamente la información necesaria para realizar análisis, está estructurada y organizada con base en los criterios del usuario, puede ser univariada o multivariada. Permite generar variables complementarias obtenidas a través de procesos aditivos, multiplicativos, etc., posibilitando realizar análisis integrando variables (Mora-Aguilera *et al.*, 1998; 2000).

Estos autores, además, proponen que una matriz de datos se considera como matriz epidemiológica cuando se obtienen un conjunto de datos o información propiamente resumida y estructurada con base en variables de un sistema epidemiológico (SE) a través de la cual se puede plantear una o más hipótesis a un fenómeno fitosanitario. La misma debe: i) contener

al menos una variable de cada componente del SE del patosistema de análisis, ii) estar estructurada y organizada según criterios epidemiológicos con el fin de responder hipótesis, iii) ser de tipo multivariada, iv) generar variables complementarias obtenidas a través de procesos aditivos, multiplicativos, índices, indicadores, etc., y v) permitir generar un análisis integral al tener representatividad de SE.

Es posible generar una base de datos y caracterizar al TFC en el centro norte de Córdoba con la información de diez años de trabajos realizados sobre la sanidad del cultivo de maíz. Es por ello que los objetivos de este trabajo fueron generar una base de datos y una matriz epidemiológica para analizar e interpretar la información sanitaria de diez campañas agrícolas en la región centro norte de Córdoba, y a través de la misma caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del TFC, lo que permitirá desarrollar de herramientas de manejo para este patosistema.

2. MATERIAL Y METODOS

2.1 Recopilación de información de sanidad de cultivo de maíz

La información sanitaria del cultivo de maíz se recopiló por el equipo de trabajo del Laboratorio de Fitopatología, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Católica de Córdoba (UCC) durante diez campañas agrícolas, en el período 2007-08 a 2016-17. Esta información se obtuvo de 86 ensayos realizados entre las latitudes -32.519004 y -29.432741 y entre las longitudes -62.185749 y -64.069798, en 29 localidades del centro norte de Córdoba (**Figura 1**). Los ensayos recopilados están compuestos por dos tipos de trabajos: i) ensayos comparativos de rendimiento de híbridos de maíz (ECR) y ii) ensayos de uno o más híbridos de maíz con diferentes tratamientos de fungicidas aplicados.

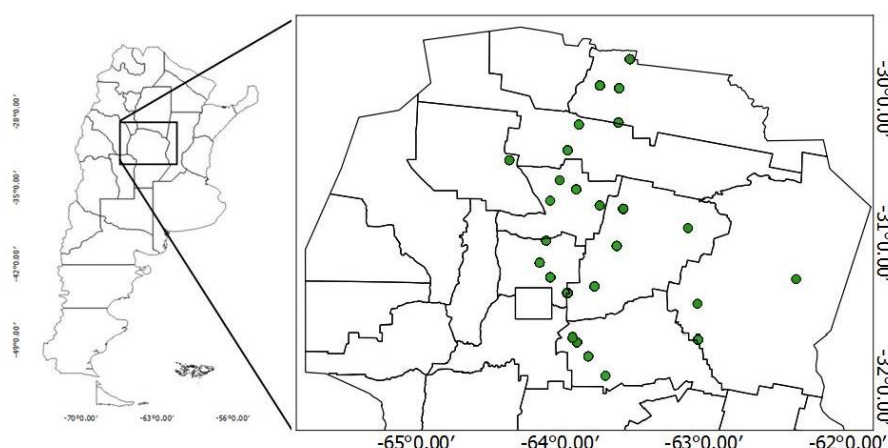


Figura 1. Localidades de la región centro norte de Córdoba y mapa de Argentina donde se generó la información sanitaria del cultivo de maíz, por el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica de Córdoba desde 2007-08 a 2016-17.

2.2 Generación de una base de datos y de una matriz epidemiológica

Con todos los datos registrados en las planillas de campo de los ensayos desarrollados, se generó una base de datos en planilla Excel. Posteriormente se diseñó una matriz epidemiológica de ensayos de sanidad de maíz, donde se detallaron: campaña, identificación del ensayo (tipo y denominación), entidad, establecimiento, localidad, coordenadas geográficas (latitud y longitud expresadas en UTM), fecha de siembra, década de siembra, fenómeno fase de El Niño Oscilación Sur (ENSO), cultivo antecesor, fertilización, densidad de plantas, rango de densidad de siembra, secano/riego, precipitación pluvial total (mm recibidos durante el ciclo del cultivo), precipitación pluvial (mm) desde siembra hasta R1, precipitación pluvial (mm) después de floración, estrés térmico (temperaturas $>35^{\circ}\text{C}$ durante tres días consecutivos), estrés hídrico (períodos sin precipitaciones >25 días), fungicidas aplicados, fecha de aplicación, estado fenológico a la aplicación, rendimiento del testigo, rendimiento en parcelas tratadas, diferencias de rendimiento, peso de mil granos, híbrido, semillero, evaluación sanitaria, estado fenológico en el momento de la evaluación sanitaria, tercio de la planta evaluado, severidad (%) de TFC y Genética (reacción del híbrido frente al TFC). Además, se registró la severidad de roya común, bacteriosis, cercosporiosis, roya polisora y la incidencia de pudriciones de raíces y tallo, todo expresado en porcentaje (%).

2.3 Análisis de datos

Para esta Tesis, se tuvieron en cuenta sólo los ensayos con presencia de TFC ($n=56$), causado por infecciones naturales. En algunos de los ensayos seleccionados, se presentaron otras enfermedades, pero su magnitud fue marcadamente menor ($<3\%$ de severidad final) y en la mayoría de los casos, insignificantes ($<1\%$ de severidad final). Aquellos casos en los que se desarrollaron más de una enfermedad de manera significativa (por ejemplo $>5\%$ severidad final) no fueron considerados en los análisis presentados.

Con la información recopilada se definieron variables de estudio con las que se realizaron análisis de la ocurrencia, distribución e importancia del TFC en el centro norte de Córdoba, a través de técnicas de resumen, comparativas (ANOVA) y estadística multivariada (árboles de clasificación de regresiones), utilizando los programas Excel, InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018) y QGIS (2018). Las variables seleccionadas, así como las unidades de medida que se utilizaron y los rangos explorados de cada una de ellas se presentan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Variables, unidades y detalle/rango explorado, de la matriz de datos generada en híbridos de maíz de la región centro norte de Córdoba, durante diez campañas agrícolas para el manejo del tizón foliar común (TFC), causado por *Exserohilum turcicum*.

Variable	Unidades	Detalle/Rango explorado
Cultivo antecesor		maíz, soja, trigo, garbanzo
Fecha de siembra (FS)	fecha	31/10 al 02/02
Década de siembra	década	3° D Octubre / 1° D Febrero
FS temprana	fecha	31/10 al 20/11
FS tardía	fecha	20/11 al 02/02
Genética (reacción a TFC)	clasificación	S, MS, MS, R
Densidad	pl ha ⁻¹	48 000 / 83 000
Uso de fungicida	Si/No	tratado / testigo
Fenómeno ENSO	clasificación	Niño, Niña, Neutro
Latitud	grado	-29.432741 / -32.985312
Longitud	grado	-62.342824 / -64.223831
Rendimiento	kg ha ⁻¹	1880 / 13 320
Severidad final de TFC	SF%	0 a 95

2.3.1 Ocurrencia

En esta Tesis se utilizó el término ocurrencia como sinónimo de ocurrencia estadística, presencia o aparición de la enfermedad. La misma se evaluó determinando: i) cantidad de campañas agrícolas con diferentes niveles de TFC, ii) cantidad de ensayos con diferentes registros de TFC, iii) ocurrencia según severidades finales registradas, iv) según comportamiento sanitario, v) según variables de manejo agronómico y vi) según fechas de siembra.

2.3.1.1 Campañas, ensayos y severidades finales

El análisis de: i) cantidad de campañas agrícolas con diferentes niveles de TFC, ii) cantidad de ensayos con registros de TFC, iii) ocurrencia según severidades finales registradas, fueron determinados y analizados generando datos resumen en formato de tablas y gráficos, extraídos de la matriz epidemiológica obtenida.

2.3.1.2 Comportamiento sanitario de híbridos

El estudio del comportamiento sanitario de los híbridos de maíz frente al TFC en el tiempo, de la región centro norte de Córdoba, se llevó a cabo seleccionando de la matriz epidemiológica, todas aquellas parcelas testigo (sin tratamiento de fungicidas) filtradas por

campaña, empleando los valores de severidad final, evaluada en las hojas de la espiga, espiga +1 y espiga -1, en el estado fenológico de grano pastoso o R4, generando así un número total de $n = 1824$ casos, en los diez años estudiados. A los casos registrados por campaña, se los clasificó por la reacción del cultivar frente al TFC en cuatro clases: i) resistente (R) siendo aquellos que presentan severidades finales menores al 1 %, ii) moderadamente resistente (MR), con severidades finales entre 1,1 y 5 %, iii) moderadamente susceptibles (MS), con severidades finales entre 5,1 y 10 % y iv) Susceptible (S) con severidades finales mayores al 10 %. Luego de realizar esta clasificación se determinó el porcentaje de casos para cada una de las clases con respecto al total de materiales evaluados en cada campaña.

2.3.1.3 Variables de manejo agronómico

Para realizar el análisis según variables de manejo agronómico que pueden tener influencia en el desarrollo del TFC del maíz, se seleccionaron de la matriz epidemiológica, las siguientes variables para su estudio: i) cultivo antecesor, ii) densidad de plantas, iii) genética (comportamiento sanitario frente a TFC), iv) fenómeno fase de El Niño Oscilación del sur (ENSO) y v) fecha de siembra (FS). Otras variables como nivel de fertilización, precipitación pluvial (mm) recibidos durante todo el ciclo de cultivo y precipitación pluvial (mm) recibidos durante floración, fueron descartadas del análisis final, ya que análisis previos mostraron escasa representatividad de la variabilidad encontrada en esos datos.

De la matriz epidemiológica se seleccionaron todas aquellas parcelas testigo (sin tratamiento de fungicidas) filtradas por su severidad final en el tercio medio, en el estado fenológico de grano pastoso o R4, generando un número de $n = 907$ casos. Se probó un modelo de riesgo de desarrollo del TFC del maíz utilizando las variables de manejo seleccionadas como predictoras. La severidad (%) de la enfermedad en el estado fenológico de grano pastoso (R4), fue categorizada en clases y utilizada como variable respuesta. Para lo cual se propuso una escala de cuatro grados, donde: 1) severidades menores al 1 %, 2) severidades entre 1,1 y 5 %, 3) severidades entre 5,1 y 15 % y 4) severidades mayores al 15 %. Regresiones logísticas y árboles de clasificación de regresiones (CART) fueron usados como enfoques de diferentes modelos de predicción de la severidad final registrada del TFC del maíz como función de i) genética, ii) FS temprana o tardía y iii) fenómeno ENSO. El modelo se aplicó utilizando 906 casos seleccionados anteriormente para estudios relacionados a variables de manejo agronómico.

2.3.1.4 Fechas de siembra

Se analizaron las diferencias producidas en el desarrollo del TFC según las fechas de siembras, estudiando las severidades finales registradas. Para una mejor interpretación de

los resultados, se dividió cada mes en tres grupos de 10 días (década de mes) y se analizó el registro de la severidad (%) final de TFC en todos los ensayos y para su visualización, se realizó un gráfico de cajas. Además, se realizó la distribución empírica de las probabilidades de las severidades finales registradas de TFC, diferenciadas por fechas de siembra (FS), donde FS temprana se consideró aquellas realizadas hasta el día 20 de noviembre y FS tardías a las realizadas, a partir del día 20 de noviembre (inclusive).

2.3.2 Distribución

Para determinar la distribución de la enfermedad, con la información de 10 años en 29 localidades del centro norte de Córdoba, con el programa QGis (2018) se realizó el mapa de la distribución de las severidades finales (%) de TFC registradas, utilizando la metodología de interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW), que, de varias probadas, fue la que mejor reflejó los datos reales. También, se realizaron mapas de distribución geográfica de las severidades finales (%) registradas, incluyendo la variable fenómeno ENSO y la distribución empírica de las probabilidades de las severidades finales, diferenciadas por la variable fenómeno ENSO.

2.3.3 Importancia

La importancia relativa de la ocurrencia y distribución del TFC en el centro norte de Córdoba, fue determinada evaluando los daños y las pérdidas económicas ocasionadas al cultivo de maíz. Al mismo tiempo se estudió cuál fue la adopción de la utilización de fungicidas como estrategia de manejo, y cuáles fueron los controles alcanzados.

2.3.3.1 Daños y pérdidas

En las diez campañas estudiadas se realizó sobre los ensayos comparativos de rendimiento (ECR) el estudio de la aplicación de fungicida para el control de las enfermedades foliares presentes. Así, se registraron los daños ocasionados por el TFC en el testigo (sin aplicación de fungicida), expresados como diferencia en kilogramos por hectáreas (kg ha^{-1}) y en porcentaje (%), con respecto al mismo genotipo con aplicación de fungicida. Se utilizaron precios de referencia de la Bolsa de Cereales de Rosario, con un precio neto de la t de maíz de 112 USD t^{-1} , donde al precio bruto de la tonelada de maíz fue de 140 USD t^{-1} (promedio de los meses de junio y julio durante las campañas 2007 a 2017), al cual se les descontaron 25 USD t^{-1} por flete promedio desde la región centro norte de Córdoba a puerto Rosario y 3 USD t^{-1} de gastos de comercialización. El costo de control (C_c) utilizado fue de 30 USD ha^{-1} , el cual

incluye el precio de la dosis (para maíz) de un fungicida mezcla triazol + estrobilurina más la aplicación aérea.

2.3.3.2 Utilización de fungicidas y control

Para realizar una estimación de la utilización regional de la tecnología de fungicidas en el cultivo de maíz por campaña, se utilizó la base de datos de las entidades Grupo Río Seco (GRS), agrupación de empresas para generación de información técnica y Consorcio Regional de Experimentación Agrícola (CREA) región Norte. Se registraron los datos de 8947 campos, que representaron una superficie de aproximadamente 651 808 hectáreas, donde se utilizó la tecnología de fungicida en porcentaje de hectáreas con respecto al total de hectáreas sembradas y al mismo tiempo se especificó cuál fue el patógeno objetivo del control. Para el estudio del control obtenido del TFC, se seleccionaron sólo aquellos tratamientos en donde se usaron fungicidas mezcla de triazol + estrobilurina a dosis de registro en 38 ensayos dirigidos en microparcels con cuatro repeticiones. Aquellos tratamientos de fungicidas solos, o mezclas triples, o que utilizaron rangos de dosis, no fueron considerados, al igual que los ensayos comparativos de rendimiento, o ensayos en macroparcels. La eficiencia de control (%), se calculó mediante la fórmula de Abbot (1925): eficiencia de control (%) = $[(\% \text{ severidad testigo} - \% \text{ severidad tratamiento}) / \% \text{ severidad testigo}] * 100$.

2.3.4 Selección y evaluación de la severidad final

Para la realización de los análisis previamente descritos, de la matriz epidemiológica se seleccionaron todos aquellos tratamientos que no recibieron ninguna aplicación de fungicida (testigos), así como las evaluaciones de avance del desarrollo de enfermedad en el tiempo. Se utilizó como variable de estudio la Severidad Final (SF%), expresada en porcentaje de área foliar afectada (%) por el TFC, registrada en el estado fenológico de grano pastoso o R4 (Ritchie & Hanway, 1982), en las hojas de la espiga, espiga + 1 y espiga – 1 (he, he+1, he-1). La SF fue estimada como el porcentaje entre el área foliar afectada y el área foliar sana, siendo el dato final el promedio de la estimación registrada en las tres hojas evaluadas (he, he+1, he-1) de seis plantas tomadas al azar, por cada genotipo estudiado en cada repetición. Estas hojas y la evaluación en R4 fueron seleccionados porque la severidad de TFC en ese estado de desarrollo del material se reporta como la que provee la mejor relación con los daños ocasionados al rendimiento (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992).

Para realizar las evaluaciones sanitarias, los evaluadores fueron entrenados previamente, para lo cual se utilizaron las escalas diagramáticas de uso común para este patosistema, como la de Pataky (1992) y/o la de Bleicher (1988), y los programas de entrenamiento Disease Pro (Nutter & Worawitlikit, 1989) y Distrain (Tomerlin & Howell, 1988).

Paralelamente, se desarrolló una escala diagramática de hoja completa y un sistema de entrenamiento de estimación visual específico de la severidad causada por el TFC (Capítulo V).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recopilación de información, generación de base de datos y matriz epidemiológica

Diez años de evaluaciones sanitarias del cultivo de maíz en la región centro norte de Córdoba fueron recopilados, resumidos, acomodados y estructurados en planillas de Excel generando una base de datos. La misma constituye la primera base de datos epidemiológica en Argentina sobre este cultivo, encontrándose disponible para trabajos de investigación y desarrollo, solicitándola al correo del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica de Córdoba (laboratorio.fitopatologia@ucc.edu.ar). Ésta base de datos se utilizó para generar una matriz epidemiológica de datos de sanidad del cultivo de maíz, ambas fueron denominadas como base de datos y matriz epidemiológica Sanidad de Maíz. En la misma se resumen 86 ensayos de sanidad del cultivo de maíz, relevando información de 197 híbridos de maíz, pertenecientes a 18 empresas semilleros, de 29 localidades del centro norte de Córdoba durante diez campañas agrícolas (**Figura 2**).

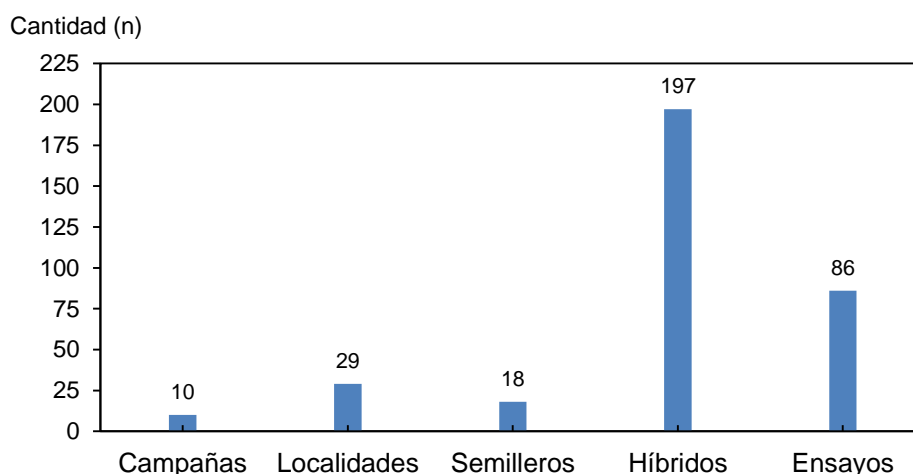


Figura 2. Campañas, localidades, semilleros e híbridos que participaron en las evaluaciones y número de ensayos realizados y ordenados en la base de datos de Sanidad de Maíz.

3.2 Análisis de datos

3.2.1 Ocurrencia y severidades finales

En las campañas 2007-08, 2009-10, 2010-11, 2013-14 y 2014-15 se registraron altas severidades finales promedio de TFC ($\geq 10\%$), situación que se repitió en diferentes localidades del centro norte de Córdoba, inclusive hubo casos donde se evaluaron daños del área foliar superiores al 50 %. En las campañas 2013-14 y 2014-15 se registraron valores de severidad superiores al 70 %, observándose hojas completamente necrosadas en estados fenológicos reproductivos. La distribución de las severidades finales (%) registradas en cada campaña, evaluadas en parcelas testigo (sin aplicación de fungicida), en el tercio medio de la planta, en el estado fenológico de grano pastoso o R4, se representaron en un gráfico de cajas para una mejor visualización (**Figura 3**).

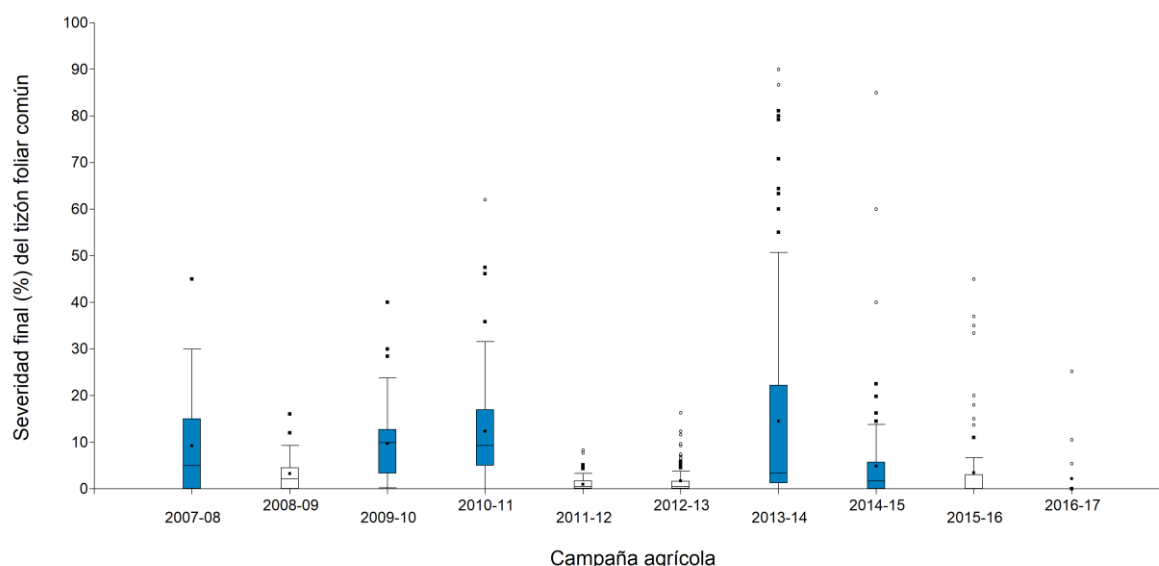


Figura 3. Severidades finales (%) del tizón foliar común, causado por *Exserohilum turcicum*, en 86 ensayos de maíz, entre 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba. Campañas agrícolas de alta presión en diferentes localidades se destacan en color.

El TFC se registró en el 65,1 % de los ensayos (56 casos positivos sobre 86), 28 (50 % de los casos positivos) presentaron altas severidades finales, mayores al 10 %. De la misma manera, en el 17,9 % de los casos positivos (10 ensayos) se registraron severidades intermedias, entre el 5 y 10 % de severidad final. La suma de 28 ensayos con presión alta ($>10\%$) y los 10 de presión intermedia (5 a 10 %) de TFC, 38 ensayos, representan el 67,8% de los casos positivos, lo que permitió estudiar este patosistema bajo condiciones de una adecuada presión de enfermedad. En ocho casos (14,3 % de los casos positivos) la enfermedad alcanzó severidades finales consideradas bajas, entre el 1 y el 5 % y en 10

ensayos (17,9 % de los casos positivos) se registró muy baja intensidad, a 1 %. De los 86 ensayos estudiados, en 30 no se registró presencia de TFC (**Figura 4**).

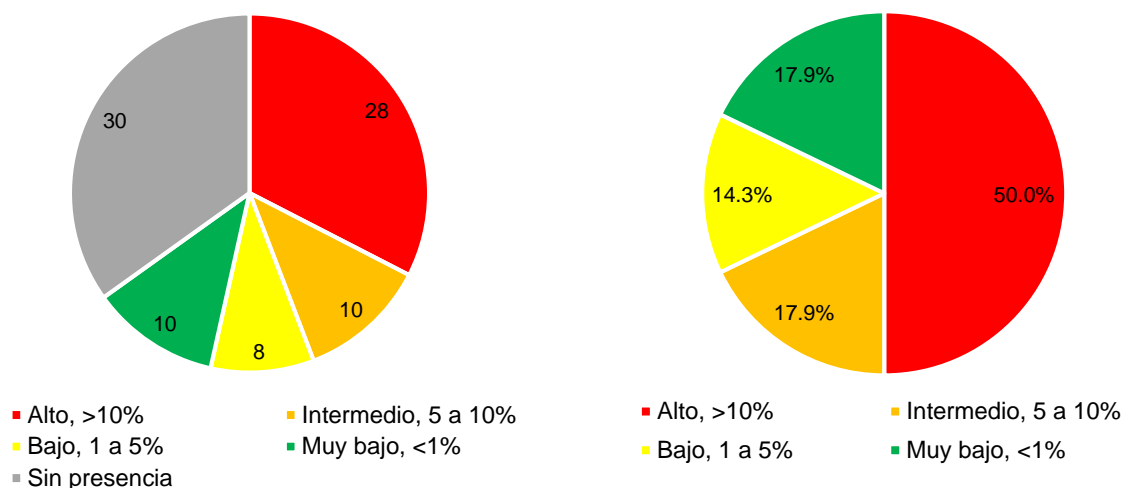


Figura 4. Distribución del número de ensayos con diferentes intensidades de tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) (izquierda) y porcentaje de los casos con enfermedad con diferentes niveles de la misma (derecha) registrados en la matriz epidemiológica Sanidad de Maíz.

Couretot *et al.* (2010) determinó que, en el norte de Buenos Aires, el TFC es una enfermedad de alta prevalencia, con incidencia y severidad crecientes en los últimos años. A su vez, Formento (2010), en Entre Ríos, en siembras tardías o de segunda, registró desde 1996/97 la aparición epifítica esporádica de TFC, sin embargo, con frecuentes e intensas lluvias en los meses estivales y temperaturas moderadas registra síntomas en estados reproductivos. Resultados similares se detallaron en talleres de trabajo referidos a la sanidad del cultivo de maíz, realizados desde 2013 a 2017, donde participaron numerosos investigadores de 16 instituciones de Argentina, quienes concluyeron que los nuevos escenarios en el sistema productivo del maíz, como la ampliación de las fechas de siembra y la diversificación de ambientes de cultivo, más el aumento del monitoreo del mismo en los últimos años, evidenciaron la importancia de diferentes enfermedades, destacando la importancia de la roya común y el TFC (De Rossi & Couretot, 2013).

En Argentina, en la década del '60, en IDIA (1969) ya se mencionaba al TFC como una enfermedad difundida y grave en todas las áreas cultivada, pero más severa en el noroeste (NOA) y noreste (NEA) del país. En el año 2010, el TFC fue la enfermedad de mayor prevalencia en el centro norte de la provincia de Córdoba, Argentina, y a partir de la campaña 2007-08, se manifestó todos los años, con severidades variables según la respuesta de los

genotipos (Guerra & De Rossi, 2010). En Brasil la enfermedad ocurre de forma generalizada y con severidad variable en la región centro sur del país (Frosi & Balmer, 1980; Pinto, 1997). Destacando, que, en todos los casos, la ocurrencia de epidemias está asociada las condiciones ambientales conducentes y la susceptibilidad del híbrido (Elliot & Jenkins, 1946; Raymundo & Hooker, 1981; Carson, 1995; Ramathani *et al.*, 2011).

3.2.1.1 Comportamientos sanitario

Durante las cuatro primeras campañas relevadas (2007-08 a 2010-11), el mayor porcentaje (> 60 %) de los materiales evaluados cada año, quedaron enmarcados dentro de las categorías MS y S, con excepción de la campaña 2008-09 dónde se registró una gran sequía en toda la región y el desarrollo de la enfermedad no fue representativo. A partir de la campaña 2011-12 se comenzó a registrar una mayor proporción de materiales con mejor comportamiento frente al TFC, presentando reacciones MR y R. En las dos últimas campañas 2015-16 y 2016-17, se refleja el recambio de materiales efectuados por las empresas semilleras, ya que en ambas más del 70 % de los materiales se ubicó dentro del rango de comportamiento resistente (R) (**Tabla 2 y Figura 5**).

Tabla 2. Comportamiento sanitario de los híbridos de maíz frente al tizón foliar común, causado por *Exserohilum turcicum*, con reacción resistente (R), moderadamente resistente (MR), susceptible (S) y moderadamente susceptible (MS) expresada en porcentajes (%), en la región centro norte de Córdoba, desde 2007-08 a 2016-17.

Campaña	Reacción a TCF			
	R	MR	MS	S
	(SF <1 %)	(SF 1 - 5 %)	(SF 5,1 - 10 %)	(SF >10 %)
2007-08	0	6	44	50
2008-09	22	56	16	6
2009-10	5	35	13	47
2010-11	11	14	28	47
2011-12	64	34	2	0
2012-13	67	21	9	3
2013-14	24	36	9	31
2014-15	23	34	9	30
2015-16	73	14	2	12
2016-17	84	0	5	11

SF: severidad final

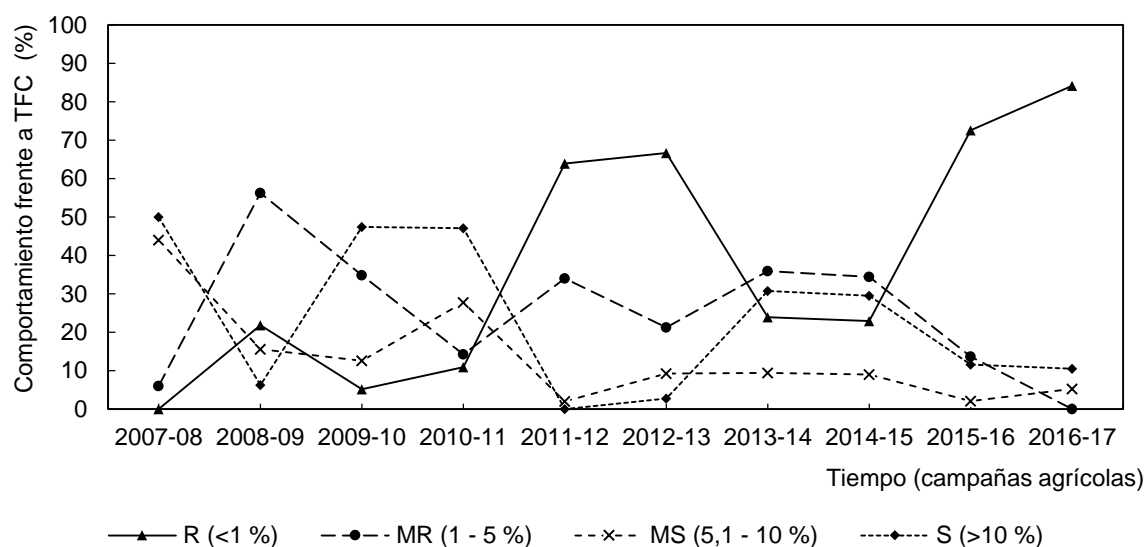


Figura 5. Porcentajes (%) de híbridos de maíz con reacción resistente (R), moderadamente resistente (MR), susceptible (S) y moderadamente susceptible (MS) frente al tizón foliar común, causado por *Exserohilum turcicum*, en ensayos comparativos de rendimiento en la región centro norte de Córdoba desde 2007-08 a 2016-17.

3.2.1.2 Variables de manejo agronómico

La variable Genética (reacción del hospedante frente al TFC) aportó el 58,8 % de la variabilidad registrada, siguiendo en importancia se ubicó la variable fechas de siembra (FS), la cual aportó el 7,5 % y luego la variable fenómeno ENSO que explicó el 1,6 % de la variabilidad. Las variables densidad y cultivo antecesor, no fueron estadísticamente significativas (**Tabla 3**). La variable Densidad, no fue identificada por el algoritmo del árbol de clasificación como una variable de peso para explicar la severidad. Es posible que el rango de densidades probadas no fue lo suficientemente amplio (48 000 / 83 000 plantas ha⁻¹) para registrar diferencias, además, un 54 % de los ensayos se realizaron dentro un rango muy estrecho (57 000 / 61 000 plantas ha⁻¹). La variable cultivo antecesor, no fue estadísticamente significativa, posiblemente debido a que el 90,7 % de los casos estudiados, se realizaron sobre el cultivo de soja y no hubo cantidad suficiente de casos con otros antecesores para cuantificar su efecto.

Tabla 3. Análisis de la varianza de variables de manejo agronómico relacionadas al desarrollo del tizón foliar común del maíz (TFC), causado por *Exserohilum turcicum*, y aporte de las mismas a la variabilidad registrada en árbol de clasificación de regresiones.

Variable	Medias		E.E.	p-valor	Aporte a la variabilidad (%)
Genética TFC					
S (n= 199)	21,34	a	± 0,64	<0,0001	58,8
MS (n= 108)	7,38	b	± 0,72		
MR (n= 248)	3,2	c	± 0,47		
R (n= 352)	-0,04	d	± 0,48		
Fecha de siembra					
>20/12 (n= 199)	7,55	a	± 0,42	<0,0001	7,5
<20/12 (n= 199)	3,12	b	± 0,94		
ENSO					
Neutro (n= 390)	8,16	a	± 0,44	<0,0001	1,6
Niño (n= 228)	5,27	b	± 0,52		
Niña (n= 289)	4,78	b	± 0,56		
Densidad					
Alta (n= 48)	1,12	a	± 1,67	0,1161	0,1
Media (n= 478)	6,49	b	± 0,53		
Baja (n= 381)	7,94	b	± 0,59		
Cultivo antecesor					
Maiz (n= 5)	0,1	a	± 5,2	0,5699	0,0
Soja (n= 880)	6,71	b	± 0,39		
Trigo (n= 5)	12,6	b	± 2,48		
Error					31,9

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), test DGC.

El modelo de riesgo de desarrollo del TFC, mostró que los valores más altos de severidad (grados 3 y 4) se produjeron en los híbridos moderadamente susceptibles (MS) y susceptibles (S), y dentro de ellos, cuando la FS fue tardía, siempre se alcanzó el grado 4. Los materiales moderadamente resistentes (MR) o resistentes (R), sólo registraron grados entre 1 y 2; y de la misma manera cuando la FS fue tardía, se registró el mayor valor dentro de ese subgrupo. Para los genotipos MS y/o S, el efecto del ENSO es el segundo factor que explica la severidad final, con años niña o neutros se producen altos porcentajes de severidad. Para genotipos MR y/o R, la Fecha de Siembra es la variable que mejor explica la severidad final (**Figura 6**).

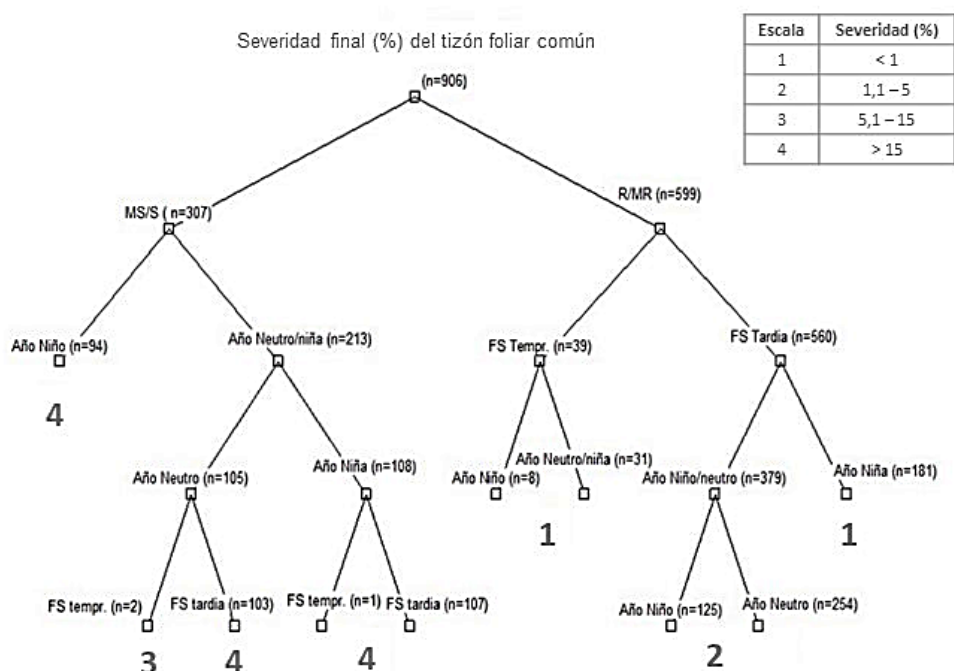


Figura 6. Árbol de clasificación de variables de manejo agronómico para grados de severidad final de tizón foliar común, causado por *Exserohilum turcicum*, para el centro norte de Córdoba. Severidad (%) en el estado fenológico de grano pastoso (R4), utilizada como variable respuesta y categorizada en grados: 1) severidades menores al 1 %, 2) severidades entre 1,1 y 5 %, 3) severidades entre 5,1 y 15 % y 4) severidades mayores al 15 %. Variable Genética: R = resistente, MR = moderadamente resistente, S = susceptible y MS = moderadamente susceptible. Variable Fase ENSO: año niño, niña y neutro. Variable fecha de siembra: FS temprana (<20/12) y FS tardía (>20/12).

3.2.2.3 Fecha de siembra

Con respecto a las fechas de siembra del cultivo, se observó en la matriz epidemiológica que a medida que las siembras se realizaban de manera más tardía se generaron mayores severidades finales de TFC. Las mayores severidades se produjeron en siembras de la tercera década del mes de enero. Existen mayores posibilidades de registrar severidades más altas en todas aquellas fechas de siembras posteriores a la tercera década del mes de noviembre. En FS tardías, del 20 de noviembre en adelante, la probabilidad de registrar severidades finales menor a siete (< 7 %) fue próxima al 0,73, y la probabilidad de registrar severidades mayores a siete (> 7 %), fue próxima al 0,27. En FS tempranas, se observó una probabilidad de registrar severidades menores a siete (< 7 %) próxima al 0,85. Dicho de otra manera la probabilidad de registrar severidades mayores a siete (> 7 %), disminuyó al 0,15 con respecto a las FS tardías (**Figuras 7 y 8**).

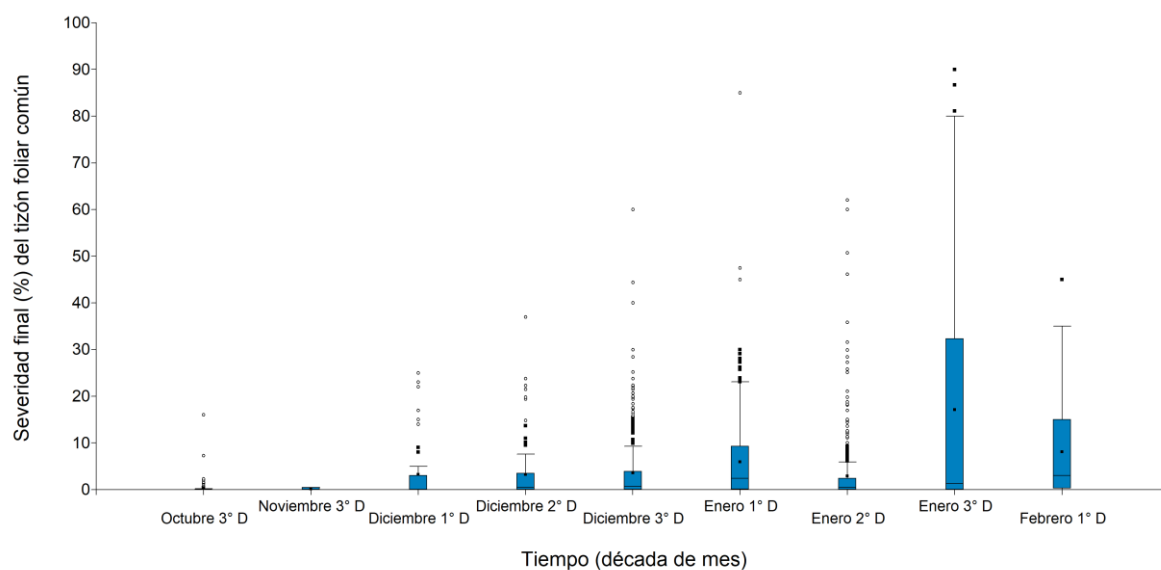


Figura 7. Severidades finales de tizón foliar común, causado por *Exserohilum turcicum*, en 86 ensayos de maíz, distribuidos en el tiempo (década de mes), durante las campañas 2007-08 a 2016-17, en el centro norte de Córdoba.

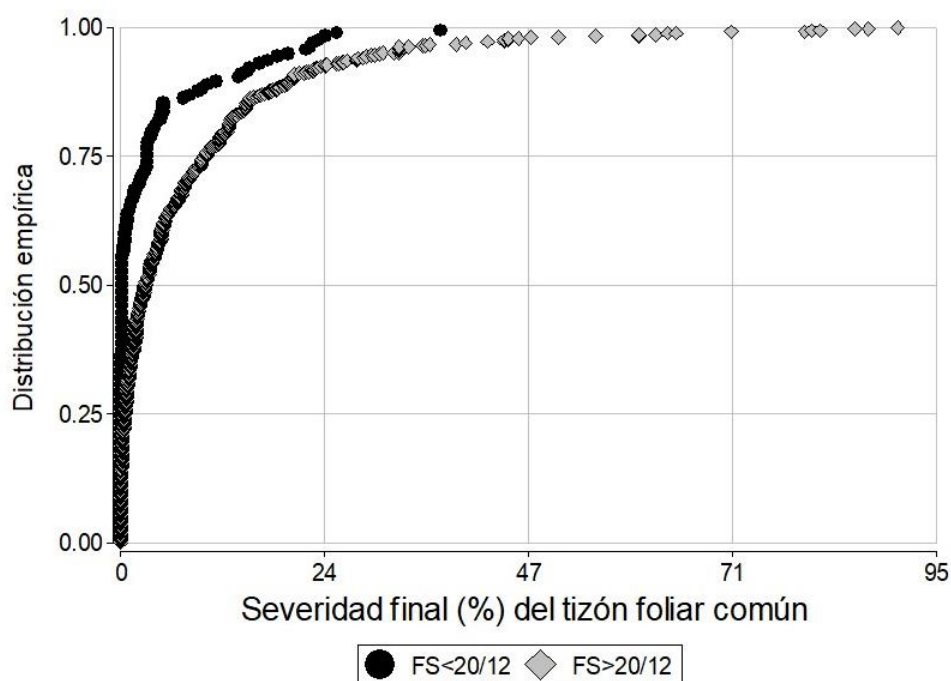


Figura 8. Distribución empírica de las severidades finales registradas en tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) para el centro norte de Córdoba, diferenciado por fecha de siembra (FS) = antes (círculos oscuros) y después del 20/12 (diamantes claros).

Parisi *et al.* (2014) en el relevamiento de enfermedades foliares de maíz realizado durante la campaña 2012-13 en norte de Buenos Aires, hallaron que el TFC fue más importante en siembras tardías (diciembre), y algunos híbridos alcanzaron el 30 % del área foliar afectada. Además, en la región centro de Santa Fe determinaron que el TFC fue la más enfermedad más importante, con una prevalencia (lotes positivos / lotes evaluados) de 45 % en lotes de primera (septiembre) y 90 % en los de siembra tardía. En estos lotes tardíos, la severidad final media fue de 35 %, con máximos de 60 % de área foliar afectada. Formento (2001) asevera que, el TFC adquiere importancia en siembras realizadas en diciembre y enero, con presencia de rastrojo en superficie y/o con riego por aspersión. También lo hace con frecuentes e intensas precipitaciones durante los meses estivales como ocurrió en el período octubre 2009 - febrero 2010 con 1188 mm en Paraná y en diversas regiones del país, como en el Centro norte de Córdoba (Formento *et al.*, 2010).

En Argentina, particularmente en ambientes templados y con régimen monzónico (con precipitaciones concentradas en el verano) como los de la Pampa subhúmeda y en ambientes subtropicales como noroeste (NOA) y noreste (NEA), la práctica de postergar la siembra del maíz hacia inicios o mediados de verano ha alcanzado proporciones importantes durante la última década (Vega *et al.*, 2017). En los últimos años, causas ambientales, productivas y económicas condujeron a un incremento de la siembra tardía de maíz. Es así que a partir del ciclo 2013-14 a nivel nacional, en porcentaje de hectáreas sembradas, se siembran más hectáreas entre los meses de diciembre y enero que en los meses de siembra típica temprana como lo son septiembre y octubre (PAS, 2019).

La buena disponibilidad hídrica próxima a la etapa de la floración, es el principal factor que explica la mayor estabilidad del rendimiento a través de los años en los maíces tardíos en secano (Florio *et al.*, 2014; Mercáu & Otegui, 2014; Giménez *et al.*, 2015). Sin embargo, aun cuando las restricciones hídricas dejen de ser limitantes, el rendimiento potencial de maíces tardíos es menor que el de fechas tempranas. Esto es debido a que cambios en la fecha de siembra ejercen efectos directos en el ambiente que exploran los cultivos no solo en el aspecto hídrico sino también en términos de rangos de temperatura y radiación solar. Dichos aspectos modulan la respuesta ecofisiológica del cultivo, presentando el maíz tardío algunas diferencias con respecto al temprano.

El período crítico (PC) del maíz, que define el rendimiento, abarca aproximadamente un mes y está centrado en la duración de la floración femenina y del área fotosintéticamente activa. Durante esta etapa, es sensible a las restricciones ambientales y/o factores bióticos, constituyendo un factor crucial para obtener un alto peso de granos. El PC del maíz tardío ocurre en una época con altas probabilidades de precipitaciones durante la definición del número de granos, temperaturas más bajas con pérdida de rendimiento potencial y mayor exposición a insectos y enfermedades. Si bien el potencial de rendimiento de maíz es menor

en fechas tardías, comparado con el de siembras de primera, la seguridad de obtener rendimientos aceptables con siembras tardías y con siembras de segunda (luego de cultivos invernales) es mayor, ya que es menor el riesgo climático. Sin embargo, la mayor presión de plagas y enfermedades hace que al momento de la elección de híbridos, sea necesario considerar simultáneamente, además del potencial de rendimiento, eventos para insectos y un comportamiento fitosanitario adecuado sobre todo en lo que respecta a roya común y TFC (Ferraguti, 2014).

CREA Región Norte de Córdoba y la Bolsa de Cereales de Córdoba, informan para todas las campañas que en el centro norte de Córdoba se siembran aproximadamente 650 mil hectáreas de maíz, siendo que desde el ciclo agrícola 2006-07 en adelante, entre el 80 y 90 % de las mismas se realiza en fechas de siembras tardías (principalmente entre el 15 de diciembre y 15 de enero). En numerosos de establecimientos de la región se considera al maíz como el cultivo principal, por lo que su presencia en las rotaciones normalmente supera el 50 %, por lo tanto, es común el registro de lotes de maíz sembrados sobre rastrojo de maíz (monocultivo). Además, se destaca que el cultivo se realiza en siembra directa, con pocos materiales seleccionados genéticamente para la región, escaso uso de fertilización y con baja adopción de monitoreo del cultivo. Este sistema productivo de la región centro norte de Córdoba, con presencia de rastrojo continuo de maíz por la siembra directa y el monocultivo, más la adopción de fechas de siembras tardía, tienen un fuerte impacto en el desarrollo del TFC.

3.2.2 Distribución

La distribución de las severidades finales del TFC registradas en la región centro norte de Córdoba durante diez campañas fueron más altas en las zonas próximas a las localidades de Villa María y Villa María de Río Seco con valores superiores al 10 % (**Figura 9**).

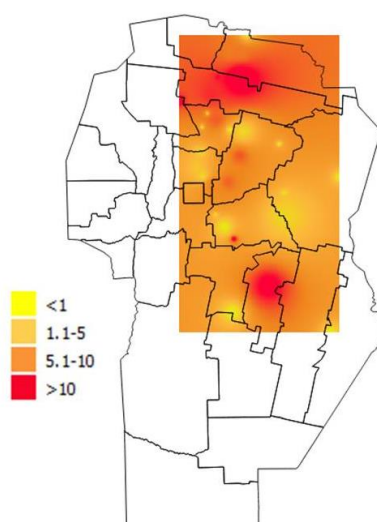


Figura 9. Distribución de las severidades finales registradas del tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en el centro norte de Córdoba, durante diez campañas agrícolas (2007-08 a 2016-17).

La distribución promedio de los registros de mayor severidad final se ve modificada al separar las evaluaciones contemplando a la variable fenómeno ENSO. Las mayores severidades se visualizan en los años Neutro y Niña, con diferencias con respecto al año Niño. El Norte de la región (zona de Villa de María de Río Seco) no es influenciado fuertemente por este fenómeno, registrando altas severidades en las tres fases, con poca diferenciación. Al mismo tiempo, los mapas separados, no reflejan las altas severidades registradas (> 60 % de severidad final) en la zona de Villa María, las cuales fueron mayores sólo en los años Neutro. Los años Neutro presentaron mayores probabilidades de registrar severidades altas, seguido por los años Niña y por último los años Niño. Las diferencias entre las fases se maximizaron en los valores de severidad intermedios entre 5 y 10 %, y se minimizaron con las severidades menores a 5 % y mayores a 10 % (**Figuras 10 y 11**).

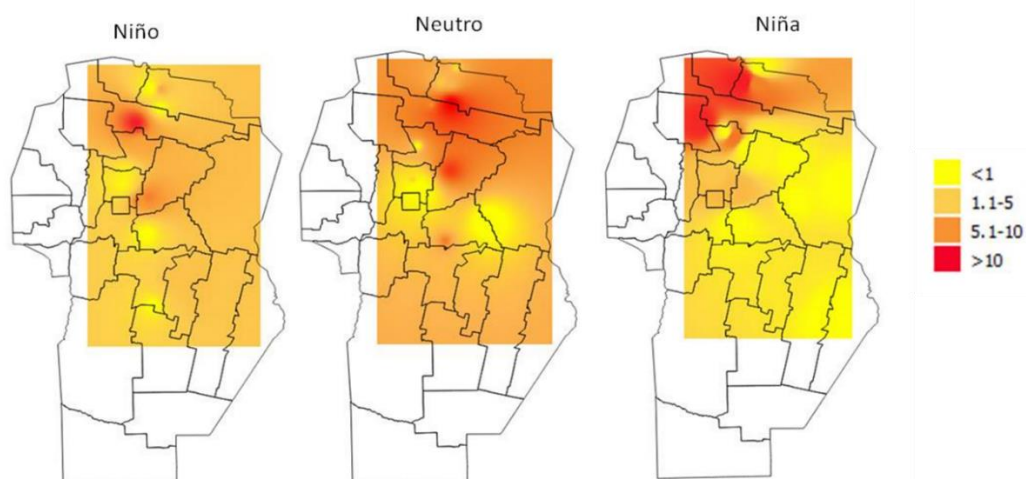


Figura 10. Distribución por regiones de las severidades finales registradas por el tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en el centro norte de Córdoba, diferenciado por fase ENSO, en las campañas 2007-08 a 2016-17.

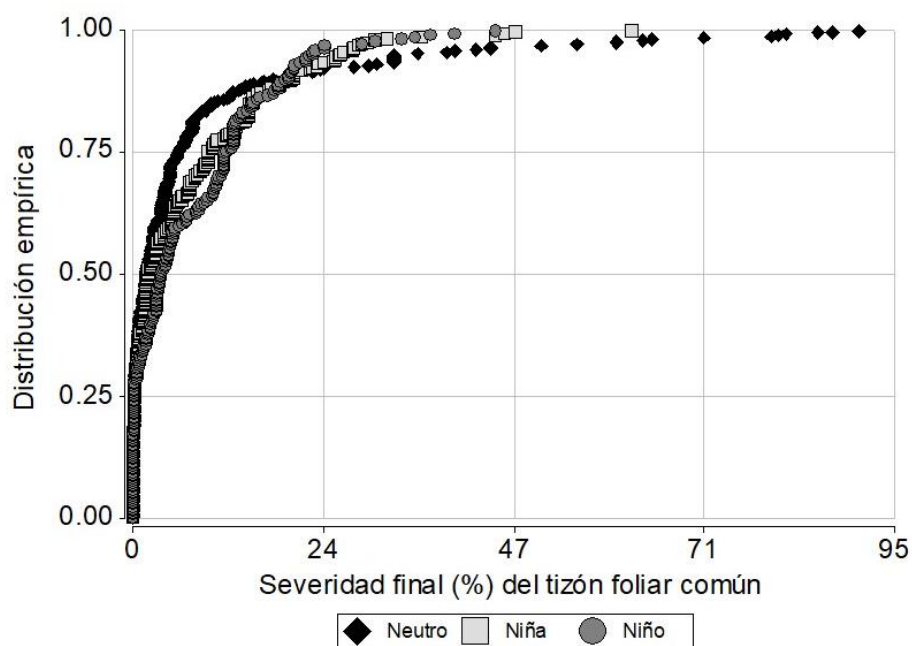


Figura 11. Distribución empírica de las severidades registradas en tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en el centro norte de Córdoba, diferenciado por fase El niño Oscilación del Sur (ENSO): neutro (diamantes negros), niña (cuadrados claros) y niño (círculos claros), en las campañas 2007-08 a 2016-07.

3.2.3 Importancia

3.2.3.1 Daños (kg ha^{-1} , %)

El daño promedio registrado en las diez campañas evaluadas en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) fue de $600,1 \text{ kg ha}^{-1}$ [310,8 - 1323,7], que se obtuvo al comparar la diferencia de producción entre las parcelas con una aplicación de fungicida y aquellas que no fueron tratadas. El valor promedio representó una disminución del rendimiento potencial de 6,9 %, con una severidad final promedio en los ensayos de 5,6 % de TFC (**Tabla 3**). Los daños promedios registrados por cada campaña oscilaron entre 3,2 y 15,1 % de merma de producción, y los daños máximos registrados oscilaron entre 20,1 y 52,5 % de merma de producción. Cuando se consideró el caso de mayor severidad de TFC de cada campaña, se observó que los daños alcanzaron una diferencia promedio de $3369,7 \text{ kg ha}^{-1}$, lo que representó un 33,6 % de reducción del rendimiento, con una severidad promedio del 40,8 % (**Tabla 4**).

Los daños registrados en los ensayos de micro parcelas de siete años de experiencias, registraron que por cada punto de severidad de TFC se perdieron $15,21 \text{ kg ha}^{-1}$ en los genotipos susceptibles (S) y $23,88 \text{ kg ha}^{-1}$, en los moderadamente susceptibles (MS) (ver Capítulo II). A resultados similares se llegaron en un ensayo conducido en la localidad de Tío Pujio (Córdoba), en la campaña 2013-14, donde se obtuvieron daños promedios de 849 kg ha^{-1} y un máximo de 1647 kg ha^{-1} con el método de gradientes de enfermedad por el uso de fungicidas (Carmona *et al.*, 2014).

Las diferencias de rendimiento (kg ha^{-1}) registradas en los ECR entre tratamientos aplicados con fungicida mezcla de triazol y estrobilurina y testigo (sin aplicación de fungicida) en híbridos de maíz con diferentes reacciones frente al tizón común del maíz, mostró que en materiales S la misma fue de 802 kg ha^{-1} , en MS fue 585 kg ha^{-1} , en MR fue de 264 kg ha^{-1} y en R fue de 159 kg ha^{-1} (**Figura 12**).

Tabla 4. Daños registrados por tizón foliar común (TFC) del maíz, causado por *Exserohilum turcicum*, en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) desde 2007-08 a 2016-17, en el centro norte de Córdoba.

Campaña	ECR	Franjas	Rendimiento (kg ha ⁻¹)				Diferencia		Severidad (%) TFC			Daño máximo	
			Testigo	D.E.	Tratado	D.E.	kg ha ⁻¹	%	Promedio	Min	Max	kg ha ⁻¹	%
2007-08	1	36	7427,6	828,6	8751,3	821,9	1323,7	15,1	10,8	1,0	45,1	2950,0	44,0
2008-09	2	64	- (*)	-	-	-	-	-	2,9	0,0	12,0	-	-
2009-10	4	270	6273,5	1158,5	6635,1	1328,5	361,6	5,4	8,8	0,1	40,0	1730,0	20,9
2010-11	4	238	7164,9	1450,9	8243,8	1908,9	1081,9	13,1	9,8	0,0	62,0	4981,4	40,9
2011-12	5	294	9490,8	2624,2	9175,9	2248,9	-314,9	-3,4	0,9	0,0	8,3	4112,9	29,4
2012-13	4	216	9335,6	2034,6	9646,4	2207,4	310,8	3,2	4,4	0,1	56,1	2409,3	20,1
2013-14	4	234	8031,2	2590,2	8376,3	2504,9	345,1	4,1	12,7	0,0	98,8	2011,1	27,9
2014-15	4	244	8811,1	1610,8	9903,6	1254,2	1092,5	11,0	5,5	0,0	85,0	5393,3	52,2
2015-16	3	190	- (**)	-	-	-	-	-	0,1	0,0	0,5	-	-
2016-17	3	120	- (**)	-	-	-	-	-	0,1	0,0	0,5	-	-
Promedio			8076,4		8676,5		600,1	6,9	5,6	0,1	40,8	3369,7	33,6

(*) sin datos por sequía, (**) sin datos por escaso desarrollo de enfermedad, D.E.: desvío estándar

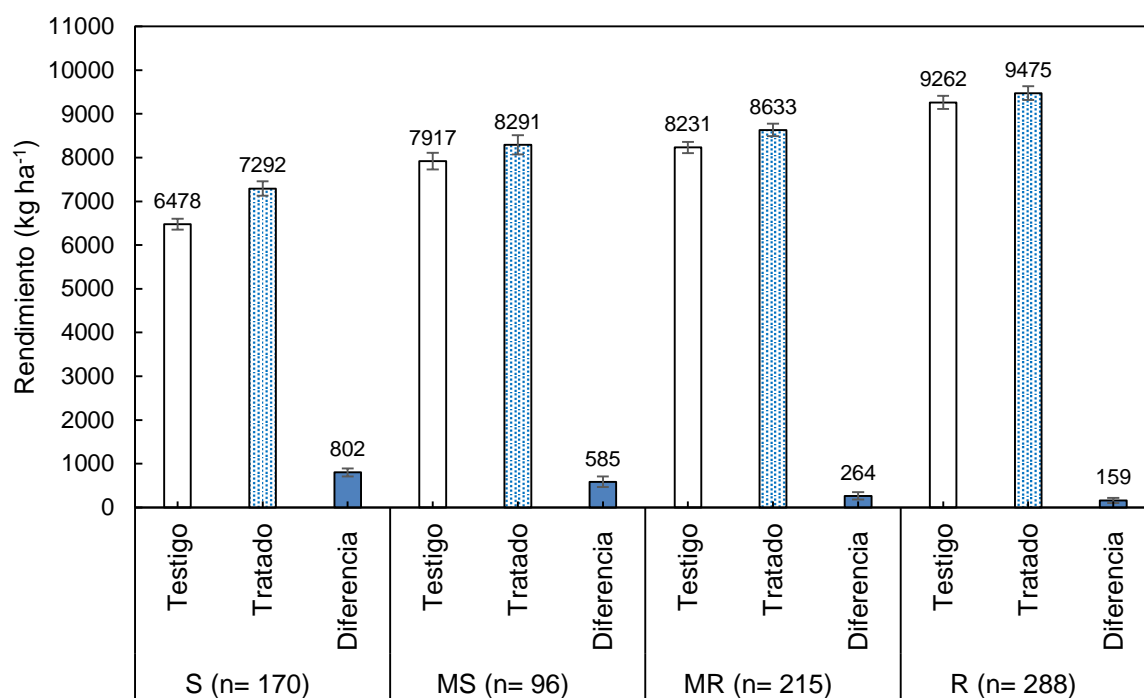


Figura 12. Rendimiento (kg ha^{-1}) en híbridos de maíz con diferentes reacciones frente al tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*), S = susceptible, MS = moderadamente susceptible, MR = moderadamente resistente y R = resistente, en testigos sin aplicación de fungicida (barras vacías), tratados con aplicación de fungicida mezcla de triazol + estrobilurina (barras texturadas) y diferencia entre ellos en kg ha^{-1} (barras llenas), en ensayos comparativos de rendimiento de maíz, en diez campañas agrícolas (2007-08 a 2016-07) en el centro norte de Córdoba. Intervalos sobre cada valor representan el error estándar.

3.2.3.2 Pérdidas (USD ha^{-1})

Las pérdidas económicas promedio ocasionadas por el TFC fueron de $67,2 \text{ USD ha}^{-1}$ ($34,8\text{-}148,3$) en las diez campañas evaluadas y aumentó significativamente a $377,4 \text{ USD ha}^{-1}$ cuando se seleccionaron los casos con mayores daños por el TFC. Al comparar con el costo promedio de realizar la aplicación de fungicida (30 USD ha^{-1}) el resultado fue positivo entre $4,8$ y $118,3 \text{ USD ha}^{-1}$. Sólo en la campaña 2011-12 no se logró cubrir el costo del tratamiento ya que se registraron valores de daños y pérdidas negativos, debido a que las aplicaciones fueron realizadas en condiciones de un fuerte estrés térmico-hídrico. El gasto/inversión de la aplicación de fungicida representó $7,5 \%$ de incremento del ingreso ($600 \text{ kg ha}^{-1} / 8000 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabla 5).

En materiales susceptibles y moderadamente susceptibles el 69% de los casos registró respuestas económicamente positivas, ya en los materiales resistentes y moderadamente resistentes este valor disminuyó al 43% de los casos, y al seleccionar

aquellos materiales que alcanzaron el 1,5 % de severidad final, se obtuvieron respuestas económicamente positivas en el 61 % (Tabla 6 y Figura 13).

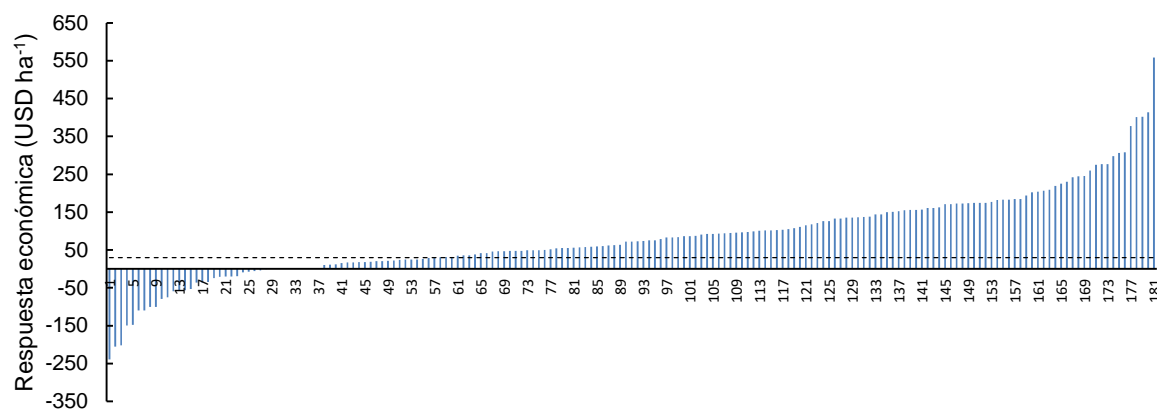
Tabla 5. Pérdidas económicas registradas por el tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) evaluados desde 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba, con un precio promedio neto de maíz de 112 USD ha⁻¹.

Campaña	Severidad (%)	Daño promedio		Pérdida promedio	Daño máximo		Pérdida máxima
	TFC Promedio	kg ha ⁻¹	%	USD ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	USD ha ⁻¹
2007-08	10,8	1323,7	15,1	148,3	2950,0	44,0	330,4
2008-09	2,9	-*	-	-	-	-	-
2009-10	8,8	361,6	5,4	40,5	1730,0	20,9	193,8
2010-11	9,8	1081,9	13,1	121,2	4981,4	40,9	557,9
2011-12	0,9	-314,9	-3,4	-35,3	4112,9	29,4	460,6
2012-13	4,4	310,8	3,2	34,8	2409,3	20,1	269,8
2013-14	12,7	345,1	4,1	38,7	2011,1	27,9	225,2
2014-15	5,5	1092,5	11,0	122,4	5393,3	52,2	604,0
2015-16	0,1	-**	-	-	-	-	-
2016-17	0,1	-**	-	-	-	-	-
Promedio	5,6	600,1	6,9	67,2	3369,7	33,6	377,4

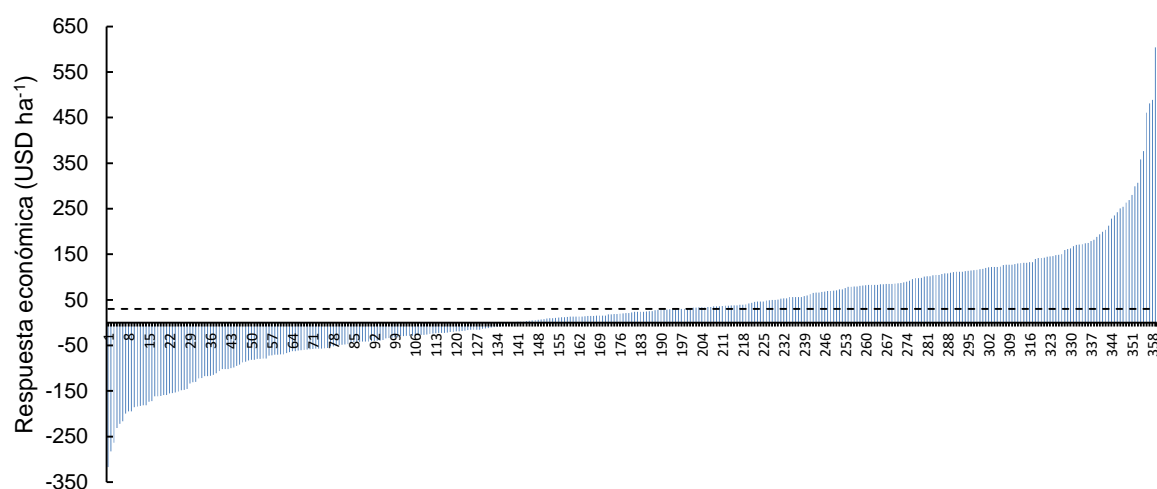
(*) sin datos por sequía, (**) sin datos de rendimiento por escaso desarrollo de enfermedad

Tabla 6. Respuesta económica positiva, nula o negativa (expresada en porcentaje de casos) por aplicación aérea de fungicida mezcla de triazol y estrobilurina para el control del tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*), registradas en ensayos comparativos de rendimiento (ECR) evaluados desde 2007-08 a 2016-17 en el centro norte de Córdoba. Materiales agrupados en susceptibles y moderadamente susceptibles (S-MS), resistentes y moderadamente resistentes (R-MR) y materiales que registraron severidades finales mayores al 1,5 % (SF ≥ 1,5 %).

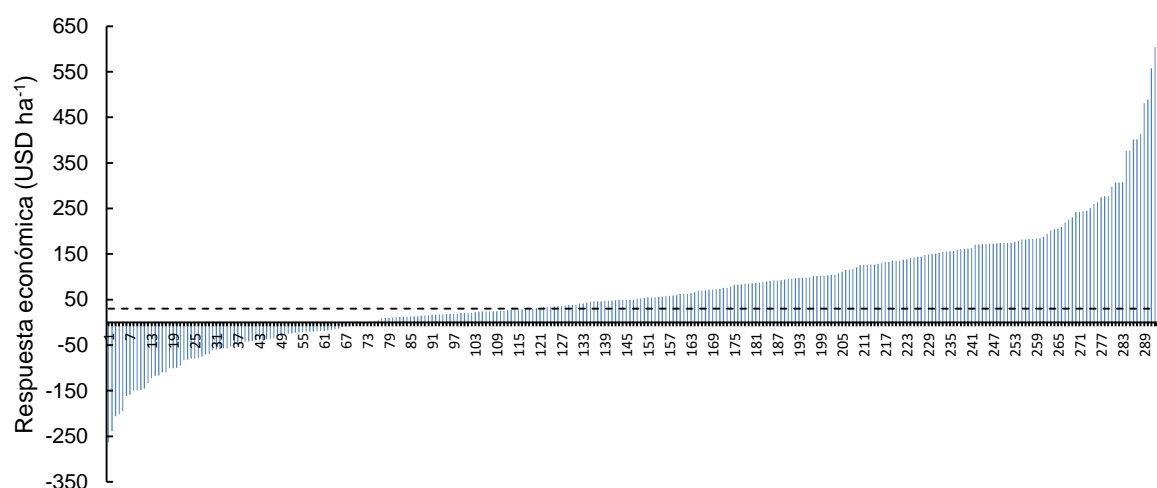
Materiales	Casos totales (n)	Casos con respuesta económica	
		Positiva	Nula o negativa
S-MS	181	69%	31%
R-MR	381	43%	57%
SF ≥ 1,5 %	292	61%	39%



A - Materiales susceptibles y moderadamente susceptibles (n= 181)



B - Materiales resistentes y moderadamente resistentes (n= 359)



C - Materiales con severidad final $\geq 1,5$ % (n= 292)

Figura 13. Respuestas económicas (USD ha⁻¹) por aplicación aérea de fungicida mezcla de triazol y estrobilurina para el control del tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en híbridos de maíz susceptibles y moderadamente susceptibles (A), resistentes y moderadamente resistentes (B), y en híbridos con severidades finales mayores al 1,5 %. Línea punteada indica el costo de control (30 USD ha⁻¹).

3.2.3.3 Utilización de fungicidas y control

La utilización de fungicida acompañó al registro de mayores severidades de TFC, así en todas las campañas el objetivo principal de control fue el TFC, con excepción de la campaña 2007-08 donde el objetivo de control fue roya común (Rc) y TFC. En las campañas 2005-06 y 2006-07 se comenzó a evaluar, pero la utilización de fungicida fue 0 %, y en esa primera instancia los productores y técnicos tenían como objetivo de control solo a Rc (**Figura 14**).

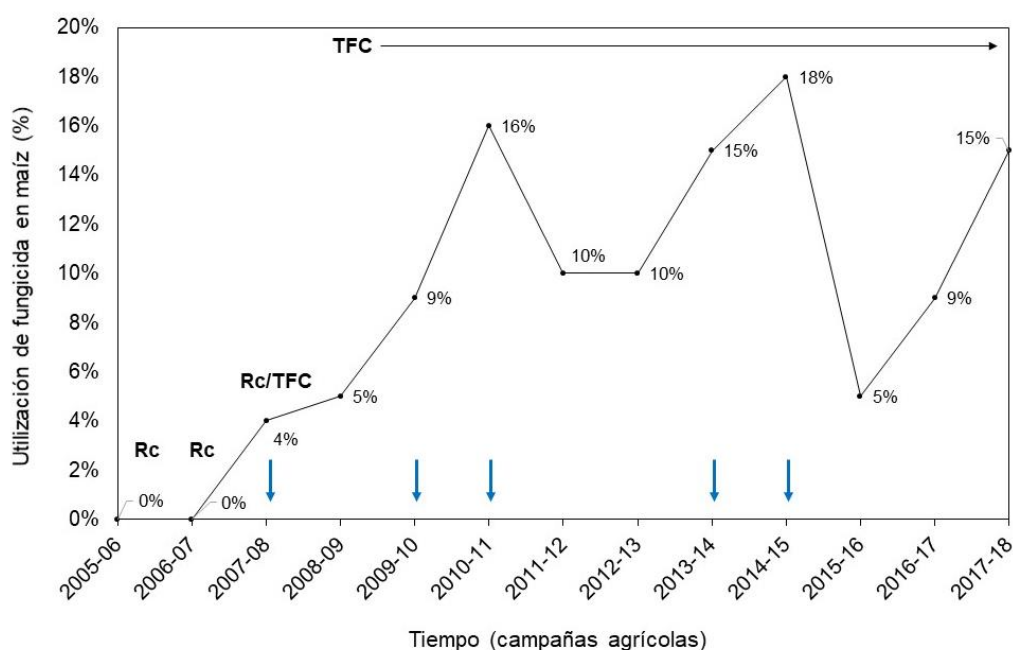


Figura 14. Evolución de la utilización de fungicidas para el control de enfermedades en el cultivo de maíz, expresado en porcentaje (%) de hectáreas aplicadas sobre hectáreas totales de maíz, en la región centro norte de Córdoba, y objetivo principal de control: roya común (Rc) o tizón foliar común (TFC). Datos promedios relevados de 8947 campos y 651 808 hectáreas de CREA región Norte de Córdoba y Grupo Río Seco. Se destacan con flechas de color las campañas con alta presión de TFC.

El porcentaje promedio de control de TFC del maíz fue de 66 % en todos los ensayos realizados en microparcelas con cuatro repeticiones durante las siete campañas. Aquellos tratamientos que recibieron una sola aplicación de fungicida alcanzaron un 64 % de control, hallándose una marcada variabilidad de respuestas (entre 12 y 92 %). Cuando se analizaron los datos según el estado fenológico al momento de la aplicación, el porcentaje de control aumentó al 77 % en estados vegetativos (V8 a V14) y disminuyó a 60 % en estados reproductivos (Vt a R3). Cuando se analizaron los tratamientos con doble aplicación de fungicidas, el porcentaje de control promedio alcanzó el 88 %, siendo los mejores controles y los que menor variación presentaron, oscilando entre 75 y 95 % (**Tabla 7**).

Cuando se consideró la severidad al momento de la aplicación, tomando el valor de 1,5 % de severidad como parámetro de decisión, y se estudiaron sólo los tratamientos que recibieron una sola aplicación de fungicida, se halló que cuando la aplicación se realizó con severidades menores al 1,5 % se alcanzó un control promedio de 74 % y con severidades mayores al 1,5 %, el control promedio disminuyó al 66 % (**Tabla 8 y Figura 15**).

Tabla 7. Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con utilización de fungicidas, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), según el estado fenológico del cultivo al momento de la aplicación.

Número y momento de la aplicación	Casos (n)	Control promedio (%)	Min - Max (%)
Una sola aplicación	47	64*	12 - 92
Una sola aplicación en vegetativo (V8 - V14)	11	77	55 - 92
Una sola aplicación en reproductivo (Vt - R3)	36	60	12 - 92
Doble aplicación (vegetativo + reproductivo)	10	88	75 - 95
Promedio general		66	12 - 95

*Valores promedios de cuatro repeticiones para cada tratamiento.

Tabla 8. Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con una sola aplicación de fungicida, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), según la severidad promedio (%) al momento de la aplicación.

Estado fenológico	Severidad (%) al momento de la aplicación	Casos (n)	Control promedio (%)	Min - Max (%)
Vegetativo (V8-V14)	< 1,5	3	89*	87 - 92
	> 1,5	8	72	55 - 90
Reproductivo (Vt-R3)	< 1,5	10	80	74 - 83
	> 1,5	26	49	12 - 77
Promedio general			72	12 - 95

*Valores promedios de cuatro repeticiones para cada tratamiento.

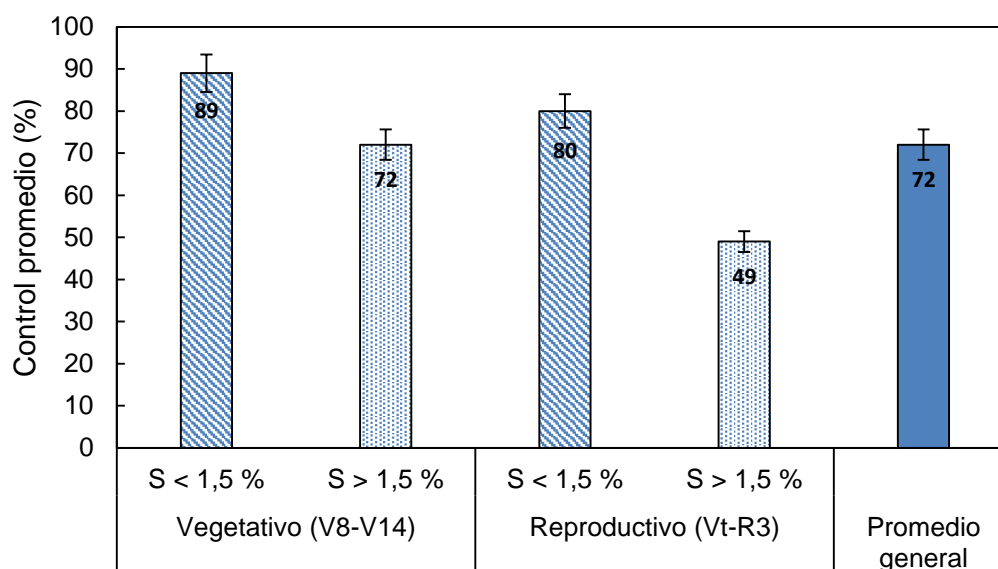


Figura 15. Porcentajes de control (%) obtenidos en diferentes tratamientos con una sola aplicación de fungicida, mezcla de triazol con estrobilurina a dosis de registro, para el control del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), según la severidad promedio (S %) al momento de la aplicación, en 47 ensayos en el centro norte de Córdoba. Intervalos sobre cada valor representan el error estándar.

Díaz *et al.* (2012), analizando 36 ensayos de investigadores de seis provincias de las principales regiones productoras de maíz de Argentina (Región Centro, Núcleo y NOA), obtuvieron porcentajes de control del TFC entre el 45 y el 65 % cuando aplicaron un fungicida, mezcla de ciproconazol + azoxistrobina (eficiencia moderada a baja). Camera *et al.* (2019), registraron que los fungicidas protioconazol + trifloxistrobina, ciproconazol + azoxistrobina + mancozeb y propiconazol presentaron los valores más bajos de severidad, alcanzando porcentajes de control del 60, 54 y 48 %, respectivamente. Nuestros resultados coinciden con los reportados por Díaz *et al.* (2012) y Camera *et al.* (2019), respecto a los porcentajes de control son considerados intermedios (entre 50 y 70 %) en la mayoría de los casos, obtenidos con fungicidas mezcla de triazol + estrobilurina. Cabe destacar la importancia de la severidad al momento de la aplicación, ya que cuando éstas fueron < 1,5 % los controles fueron mayores. Carpane *et al.* (2019), en un trabajo sobre manejo químico del TFC, concluyeron que los mejores resultados se obtuvieron cuando se aplicaron fungicidas con severidades < 2 %, semejante a lo hallado en este trabajo.

4. CONCLUSIONES

El tizón foliar común del maíz es una enfermedad de amplia distribución en la región centro norte de Córdoba, que se presenta todos las campañas agrícolas y su intensidad se es fuertemente influenciada por la genética de los materiales utilizados, la fecha de siembra realizada y las condiciones ambientales predisponentes.

Información recopilada y estructurada en bases de datos permite acceder a una amplia y valiosa información, necesaria para generar técnicas y estrategias de manejo del TFC.

Caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del TFC en las distintas zonas de la región centro norte de Córdoba, determinando comportamientos de híbridos de maíz, variables agronómicas y ambientales que impactan en el desarrollo de la enfermedad, así como cuantificando daños, pérdidas y controles posibles a registrar, son acciones que ayudan a entender el patosistema *Exserohilum turcicum* - *Zea mays* y permiten delinear herramientas de manejo integradas al agro ecosistema.

AGRADECIMIENTO

A la Ing. Celeste Gregoret por su colaboración en el análisis de la información.

5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo I

- Bleicher, J. 1988. Níveis de resistência a *Helminthosporium turcicum* Pass. Em três ciclos de seleção em milho pipoca (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1988. 130p. Tese (Doutorado) - ESALQ – SP, Brasil.
- Camera, J.N.; Koefender, J.; Golle, D.P.; Bortolotto, R.P.; Horn, R.C.; Flores, E.F. & Deuner, C.C. 2019. Esporulação in vitro e inoculação de *Exserohilum turcicum* em milho. Summa Phytopathologica, v.45, n.3, p.308-312, 2019.
- Carmona, M.A.; Viotti G. & Sautua, F. 2014. Tizón del maíz: cuantificación de daño y propuesta de umbral. Actas 3º Congreso Argentino de Fitopatología. pp 260.
- Carpane, P. D.; Peper, A.M. & Kohn, F. 2019. Management of northern corn leaf blight using Nativo (trifloxistrobin + epoxiconazole) fungicide applications. Crop Protection. JCRP 104982. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104982>.
- Carson, M.L. 1995. Inheritance of latent period length in maize infected with *Exserohilum turcicum*. Plant Dis. 79, 581-585.

- Couretot, L.; Ferraris, G.; Mousegne, F.; López de Sabando, M.; Magnone, G. & Rosanigo, H. 2010. Comportamiento sanitario de híbridos de maíz en la zona norte de la provincia de Buenos Aires. IX Congreso Nacional de Maíz. p.194-195. 17 al 19 de noviembre, Rosario. Argentina.
- De Rossi R.L. & Couretot, L. 2013. Resumen del Iº Taller de Sanidad en Maíz. Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, 26 de abril de 2013.
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2010. InfoStat, software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz, C.; De Rossi, R. L.; Couretot, L.; Sillón, M. & Ploper, L.D. 2012. Efecto global del fungicida: azoxystrobina + ciproconazol en el control de enfermedades foliares del maíz en Argentina. XXIX Congreso Nacional de Milho e Sorgo. Águas de Lindóia, São Paulo, Brasil. 26 a 30 de agosto de 2012.
- Elliot, C.H. & Jenkins, M.T. 1946. *Helminthosporium turcicum* leaf blight of corn. *Phytopathology* 36:660.
- Fancelli, A.L. 1988. Influencia do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba. ESALQ/USP. 172p. (Tese de Doutorado).
- Ferraguti, F. 2014. Maíz en fechas tardías: una alternativa que llegó para quedarse. Jornada de Maíz tardío. 20 de mayo de 2014. INTA-EEA Oliveros. 2p.
<http://inta.gob.ar/documentos/maiz-en-fechas-tardias-una-alternativa-quellego-para-quedarse-1/>
- Fisher, K.S. & Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. In: Goldsworthy, P.R. & Fisher, N.M. (Ed). *The physiology of tropical fiel crops*. Wiley. p. 231-248.
- Florio, E.L.; Mercau, J.L.; Jobbágy, E.G. & Nasetto, M.D. 2014. Interactive effects of watertable depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. *Agricultural Water Management* 146, 75-83.
- Formento, A. N. 2010. Enfermedades foliares reemergentes del cultivo de maíz: Royas (*Puccinia sorghi* y *Puccinia polysora*), tizón foliar (*Exserohilum turcicum*) y Mancha ocular (*Kabatiella zae*). INTA, Estación experimental agropecuaria Paraná, Entre Ríos. INTA publicaciones, Actualización Técnica n° 2: Maíz, Girasol y Sorgo. p. 89-100, 24 de noviembre de 2010.
- Formento, A.N. 2001. El Tizón Foliar del Maíz en Siembras de Segunda (en papel).

- Frederiksen, R.A. 1991. Compendium of Sorghum Diseases. American Phytopathology Society, St. Paul, 82 pp.
- Frosi, J.F. & Balmer, E. 1980. Reações de linhagens de milho a *Helminthosporium turcicum* Pass., em casa-de-vegetação. Fitopatologia Brasileira 5:229-238.
- Giménez, R.; Mercau, J.L.; Houspanossian, J. & Jobbágy, E.G. 2015. Balancing agricultural and hydrologic risk in farming systems of the Chaco plains. Journal of Arid Environments 123, 81-92.
- Guerra, G.D. & De Rossi, R.L. 2010. Panorama Sanitario del cultivo de Maíz en la Región centro norte de Córdoba, Jornada de Actualización Técnica de Cultivos de Verano - CREA - Campaña 2009/2010. pp.34-36.
- IDIA. 1966. Inf. Invest. Agric. INTA, Buenos Aires. 222:26. In: Fernández Valiela, M.V. Introducción a la Fitopatología. Buenos Aires, Gadala, 1969.
- Kranz, J. 1990. Epidemics of plant diseases: mathematical analysis and modeling. New York: Springer Verlag, 1990. v.2.
- Mercau, J.L. & Otegui, M.E. 2014. A Modeling Approach to Explore Water Management Strategies for Late-Sown Maize and Double-Cropped Wheat–Maize in the Rainfed Pampas Region of Argentina. Practical Applications of Agricultural System Models to Optimize the Use of Limited Water. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., and Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, pp. 351-374.
- Mora-Aguilera, G., Gutiérrez, E. M.A., y Téliz, D. 1998. Recursos Agrícolas del Trópico y Subtrópico mexicano. INEGI-CP. Aguascalientes, Mex. pp.174
- Mora-Aguilera, G.; Rivas, V.P.; Góngora, C.C.; Tovar, S.A.; Cristóbal, A.J.; Loeza, K.E.; Michereff, J.S.; Marinelli, A. & Osada, V.K. 2000. Sistemas computarizados en la epidemiología: 2-Log ver. 1.0 y su aplicación en el diseño de escalas diagramáticas logarítmicas. XXIX Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Puerto Vallarta, México.
- Nutter Jr., F. W. & Worawitlikit, O. 1989. Disease Pro: a computer program for evaluating and improving a person ability to assess disease proportion. Phytopatology 79: 1135 (Abstract).

- Nwanosike, M. R.; Mabagala, R.B. & Kusolwa, P.M. 2015. Disease intensity and distribution of *Exserohilum turcicum* incitant of northern leaf blight of maize in Tanzania. International Journal of Pure and Applied Bioscience 3(5): 1-13.
- Parisi, L.; Couretot, L.; Sillon, M.; Magliano, F. & Villar, J. 2014. Panorama sanitario del cultivo de maíz en norte de Buenos Aires y centro de Santa Fe, ciclo de cultivo 2012/2013. Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología, Tucumán, Argentina. p.403.
- PAS. 2019. Panorama Agrícola Semanal, Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2019. Informe Cierre de Campaña, Maíz 2018-19. Departamento de estimaciones agrícolas, 6 de septiembre de 2019.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. Phytopathology. 82:370-375.
- Pinto, N.F.J. de A. 1997. Eficiencia de fungicidas no controle de doenças foliares de milho. Summa Phytopathologica, v.23, p.271-274.
- QGIS. 2018. QGIS Development Team, <YEAR>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
- Ramathani, I.; Biruma, M.; Martin, T.; Dixelius, C. & Okori, P. 2011. Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. Eur. J. Plant Pathol. DOI: 10.1007/s10658-011-9815-1.
- Raymundo, A.D. & Hooker, A.L. 1981. Measuring the relationship between northern corn blight and yield losses. Plant Disease 65:325-327.
- Ritchie, S.W. & Hanway, J.J. 1982. How a corn plant develops? Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Teyssandier, E. 2005. Como predecir y controlar la ocurrencia de enfermedades limitantes de la producción de maíz. Conferencias. VIII Congreso Nacional de Maíz. p. 448- 450. 16-18 de noviembre, Rosario-Santa Fe.
- Tomerlin, J.R. & Howell, T.A. 1988. DISTRAIN: a computer program for training people to estimate disease severity on cereal leaves. Plant Dis. 72, 5, 455-459.

- Vale, R. F.X.; Cintra de Jesus, W.; Zambolin, L. 2004. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte. Editora Perfil. 243-270 pp. ISBN: 85-89800-02-4.
- Vega, C.; Santillan Hatala, C.; Razquin, C. & Ogando, F. 2017. Marco conceptual para la interpretación fisiológica de respuesta del maíz a la fecha de la siembra. En: El mismo maíz, un nuevo desafío: Compendio Primer Congreso de Maíz Tardío. Borrás & Uhart ed. 1a ed. compendiada. San Isidro: Dow Agrosiences. Argentina, 2017. Libro archivo digital: descarga y online. ISBN 978-987-98384-3- 3.
- Xiong, J. 2009. Essential bioinformatics: introduction and biological databases. Cambridge University press, USA. <http://www.cambridge.org/catalogue>.

CAPITULO II

**ESTIMACIÓN DEL DAÑO Y DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE DAÑO
ECONÓMICO PARA EL PATOSISTEMA *Exserohilum turcicum* - *Zea mays***

**DETERMINATION OF DAMAGE AND ECONOMIC DAMAGE THRESHOLDS FOR
THE *Exserohilum turcicum* - *Zea mays* PATHOSYSTEM**

RESUMEN

Umbrales de daño económico (UDE), umbrales de acción (UDA), daños en el cultivo y pérdidas económicas generadas por el tizón foliar común del maíz (TFC), causado por *E. turcicum*, en materiales susceptibles y moderadamente susceptibles, fueron evaluados en el centro norte de Córdoba en 16 ensayos a campo utilizando infecciones naturales. Los mismos se realizaron generando gradientes de severidad a través de la utilización de diferentes fungicidas, momentos de aplicación y dosis. Las parcelas estuvieron dispuestas en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la severidad (Sev) se evaluó estimando el porcentaje de área foliar afectada en las hojas de la espiga (he), he+1 y he-1, estimándose también el rendimiento por parcela. Se ajustó un modelo lineal y se utilizó el test de comparación de medias a posterior de Tukey, y se estimó la correlación entre severidad y rendimiento. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los materiales susceptibles y moderadamente susceptibles, donde la Sev final máxima varió entre 3,2 y 33,1 %, presentando asociación negativa estadísticamente significativa con el rendimiento ($R^2=0,51$; $p=0,001$). La combinación de manejo (híbrido x fungicida x dosis x momento de aplicación) logró generar importantes gradientes de enfermedad con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Se estimó que en promedio por cada punto que aumenta la severidad de TFC se pierden 20,15 kg t⁻¹ de producción, siendo que para los materiales susceptibles (S), la pérdida de producción es de 23,88 kg t⁻¹ por cada aumento en la severidad del TFC, mientras que en los materiales moderadamente susceptibles (MS) este valor disminuyó a 15,21 kg t⁻¹ de pérdida. Se determinó un umbral de daño económico (UDE) promedio de 1,09 y un umbral de daño de acción (UDA) promedio de 0,88. Al mismo tiempo se determinaron pérdidas económicas promedio de 181,9 USD ha⁻¹ [122,0 - 315,9]. Las funciones y coeficientes de daño permitieron generar umbrales de daño económico y umbrales de acción, que permiten tomar decisiones de manejo del TFC con bases técnicas y económicas.

Palabras clave: helmintosporiosis, *Helminthosporium turcicum*, epidemiología, manejo integrado, coeficientes de daño, umbrales

ABSTRACT

Economic damage thresholds (EDT), damage action thresholds (AT), crop damage, and economic losses due to northern corn leaf blight (NCLB), caused by *Exserohilum turcicum* (Et) were evaluated in susceptible and moderately susceptible hybrids in 16 field assays conducted in central-northern Córdoba using natural infections. The assays were performed by generating severity gradients using different fungicides, and dates and doses of application. Plots were arranged in a completely randomized block design with four replications. Severity (Sev) was evaluated by estimating the percentage of affected area of the ear leaf (EI), EI+1 and EI-1; yield per plot was also estimated. A linear model was fitted and the Tukey test for comparison of means was used; correlation between severity and yield was estimated. The results showed statistically significant differences ($p<0.05$) between susceptible and moderately susceptible hybrids, with final maximum Sev ranging between 3.2 and 33.1 %, and showing statistically significant negative correlation with yield ($r=0.51$; $p=0.001$). The management combination (hybrid x fungicide x dose x date of application) generated important disease gradients with statistically significant differences ($p<0.05$). It was estimated that, on average, for each NCLB severity point that is increased, 20.15 kg t⁻¹ of production are lost, with production loss for each increased point of NCLB severity for susceptible (S) and moderately susceptible materials (MS) being 23.88 kg t⁻¹ and 15.21 kg t⁻¹, respectively. The mean EDT estimated was 1.09 and the mean AT was 0.88. Furthermore, mean economic losses were 181.9 USD ha⁻¹ [122.0 – 315.9]. The functions and damage coefficients allowed us to generate EDT and AT that are useful for decision making about NCLB with technical and economic support.

Keywords: helminthosporiosis, *Helminthosporium turcicum*, epidemiology, integrated management, damage coefficients, thresholds

1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes a la agricultura argentina. En la cosecha agrícola 2017-18 el área cultivada fue aproximadamente 5,8 millones de hectáreas, con una producción total de 45 millones de toneladas y rendimiento promedio de 7700 kg por hectárea (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2019). Este cultivo representa el 1,5 % del producto bruto interno (PBI) nacional y la cadena del maíz contribuye con 9778 millones de dólares a la economía argentina (Tejeda Rodríguez, 2018).

El rendimiento del maíz puede ser influenciado por factores como la disponibilidad hídrica, fertilidad del suelo, población de plantas, sistema de cultivo, potencial productivo del híbrido y manejo de malezas, plagas y enfermedades (Sandini & Fancelli, 2000, Fancelli & Dourado-Neto, 2003). Muchas enfermedades foliares se mencionan en el cultivo de maíz, siendo el tizón foliar común (TFC) del maíz, causado por *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, considerado una de las limitaciones fúngicas más importante de la producción del cultivo en Argentina y en el mundo (Adipala *et al.*, 1993, Chandrashekara *et al.*, 2014, De Rossi *et al.*, 2016).

El TFC disminuye el rendimiento fundamentalmente por la reducción del área foliar fotosintética debido al quemado del tejido foliar que produce (De Vries & Toenniessen, 2001). Los daños asociados a las enfermedades foliares son consecuencia del mal funcionamiento y de la destrucción de los tejidos fotosintéticos, debido al aumento del número y del área de lesiones, que pueden necrosar toda la hoja. La necrosis y la muerte prematura de las hojas limitan la interceptación de la radiación solar y la translocación de los fotosintatos, al desarrollo de granos. Cuando el TFC se establece antes de floración y se extiende a las hojas superiores durante el llenado de grano, pueden ocurrir graves disminuciones de rendimiento (Ullstrup & Miles, 1957; Raymundo & Hooker, 1981; Guerra & De Rossi, 2010; De Rossi *et al.*, 2016); algunos autores han registrado pérdidas del 98 % (Kachapur & Hegde, 1988), pero normalmente oscilan entre el 15 y el 50 % (Perkins & Hooker, 1981; CIMMYT, 1985). Esta relación sobre el rendimiento de maíz y la severidad del TFC es registradas por diferentes autores (Kachapur & Hegde, 1988; Pataky *et al.*, 1988; Babu *et al.*, 2004; Harlapur *et al.*, 2005; Reddy *et al.*, 2013). Específicamente en Córdoba, Argentina, estos valores no se han determinado, aunque Guerra & De Rossi (2010) identificaron al TFC una como enfermedad importante de la región centro norte de Córdoba y registraron 42 % de disminución de rendimiento en la campaña 2009-10.

Uno de los primeros trabajos de investigación que deben ser efectuados en cualquier patosistema, es la cuantificación de los daños y pérdidas causados por un patógeno en el cultivo. El conocimiento real de los daños causados por una enfermedad es fundamental en la determinación de prioridades (Reis, 1989) y a partir de allí, es necesario determinar técnicas y estrategias de manejo que ayuden a evitar o minimizar pérdidas de rendimiento. Los daños

y pérdidas ocasionadas por una enfermedad pueden ser estimadas a partir de modelos que relacionan la intensidad de la enfermedad con el daño o producción del cultivo (Bergamin Filho & Amorin, 1996).

Existen modelos de punto crítico, de múltiples puntos, integrales, de superficie de respuesta y sinecológico (Teng & Johnson, 1988). El modelo de punto crítico, a través del uso de fungicidas, número de aplicaciones y dosis, aplicados en diferentes estados fenológicos del cultivo, es una técnica exitosa en cereales de invierno para la obtención de gradientes de enfermedad con sus consecuentes ecuaciones de función de daño (Reis *et al.*, 1997; 2002). Esta metodología se ha utilizado en la cuantificación de enfermedades de avena, cebada, trigo y maíz (Nutter & Jenco, 1992; Reis & Bevilacqua, 1996; Reis *et al.*, 1997; 2000 y 2002), con la cual se genera un gradiente de la intensidad de la enfermedad y del rendimiento de granos, permitiendo, por análisis de regresión, la obtención de la función de daño.

En el caso de enfermedades epidémicas en maíz, como el TFC, el modelo de punto crítico permitió identificar un determinado estadio de desarrollo del hospedante en el cual la intensidad de enfermedad es fuertemente correlacionada con el rendimiento de granos o daño (Pataky, 1992). Este modelo, por ser simple, tiene aplicación práctica para estimar los daños y pérdidas que ocasiona una enfermedad. La magnitud de la pérdida de rendimiento depende de la etapa de la planta cuando ocurrió la infección, de la gravedad de la enfermedad y de la resistencia del genotipo del maíz. Modelos de pérdidas de rendimiento demostraron que el momento más adecuado para estimar las pérdidas potenciales de rendimiento del cultivo de maíz cuando se desarrolla el TFC, es entre 3 y 6 semanas después de la floración (estado fenológico de grano pastoso, R4, aproximadamente) (Raymundo & Hooker, 1981; Perkins & Pedersen, 1987; Pataky, 1992).

En el manejo de cultivos, las reglas relacionadas al concepto del nivel de daño económico (NDE) han sido las más exitosas (Stern *et al.*, 1959). De hecho, este concepto, con algunos cambios menores, aún constituye la base de la mayoría de los programas de manejo integrado de plagas (MIP) que se usan en la actualidad. Munford & Norton (1984), basándose en el NDE, desarrollaron el concepto de umbral de daño económico (UDE), que determina cual es la máxima cantidad de enfermedad tolerable económicamente, momento en el cual es necesario realizar una intervención estratégica, en este caso de estudio, la aplicación de un fungicida. Siendo este umbral, un valor variable en función del rendimiento del cultivo, del estado fenológico y de los precios tanto del grano, del fungicida y de la aplicación. Al mismo tiempo, es necesario generar el umbral de acción (UDA), el cual consiste en el valor donde se deberían realizar acciones para evitar alcanzar el UDE. Considerando que para lograr mayores eficiencias en el control químico no se debe permitir que la enfermedad exceda el UDE, la aplicación debe ser realizada con anterioridad, ya que tanto la implementación del control, así como la acción del fungicida demandan tiempo (Zadoks & Schein, 1979), de aquí la importancia del umbral de acción (UDA).

El conocimiento de los daños y pérdidas ocasionados por el TFC, así como la obtención de coeficientes de daños, que permitan generar umbrales de daño económico y de acción, permiten al técnico o productor tomar la decisión de aplicar o no un fungicida para el control del TFC con un sólido fundamento técnico y económico. El maíz es uno de los principales cultivos extensivos de la Argentina, y es considerado estratégico para el sistema agro productivo de la región centro norte de Córdoba. Para alcanzar los niveles de producción esperados es necesario generar conocimiento a partir de evidencia empírica sobre la relación entre la disminución de rendimiento y el desarrollo del TFC. El objetivo de este trabajo fue estimar el daño y las pérdidas causadas por el TFC y determinar umbrales de daño económico y de acción, para generar herramientas que ayuden a tomar decisiones para el manejo de la enfermedad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos fueron conducidos en la región centro norte de Córdoba, durante las campañas agrícolas 2010-11 al 2016-17, en seis localidades ubicadas entre las latitudes -32.519004 y -29.432741. Se utilizaron 16 híbridos de diferente reacción (comportamiento sanitario) frente a TFC según información del semillero, siete de ellos susceptibles (S) y nueve moderadamente susceptibles (MS) (**Tabla 1**).

Las unidades experimentales consistieron de cuatro parcelas de 20,8 m² (4 surcos de ancho, sembrados a 0,52 cm de distanciamiento, por 10 metros de largo). En cada una de las seis localidades los ensayos fueron conducidos en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La aplicación de fungicida se realizó con una mochila experimental de presión constante por CO₂, con un ancho de botallón de 2 m, picos conos huecos 8002 y un volumen constante de aplicación a 115 litros por hectárea. En total se condujeron 16 ensayos, cada uno constó de un híbrido de maíz con una reacción al TFC conocida, con diferentes tratamientos para generar gradientes de enfermedad. Los tratamientos surgieron de las siguientes combinaciones de factores: i) fungicidas (ingredientes activos), ii) dosis (mL ha⁻¹), iii) estadio fenológico al momento de la aplicación y iv) número de aplicaciones realizadas. Las combinaciones de manejo realizadas fueron para generar gradientes de enfermedad, no para poner en valor cada variable por separado (**Tabla 1**).

2.1 Evaluación de la enfermedad

Todos los ensayos consistieron en unidades experimentales que presentaban epidemias generadas naturalmente por la presencia de inóculo de *Et* existente en la región. La severidad foliar fue evaluada en el estado fenológico R4 o grano pastoso (Ritchie *et al.*,

1993), estimándose como la relación entre el área foliar afectada y el área foliar sana, expresada en porcentaje. Cada valor de severidad es el resultado de la severidad promedio de las tres hojas del tercio medio de la planta, es decir: hoja de la espiga (he), hoja superior a la hoja de la espiga (he+1) y hoja inferior a la hoja de la espiga (he-1). En cada unidad experimental se evaluaron seis plantas seleccionadas al azar. La selección de este grupo de tres hojas centrales en el estadio fenológico R4 o grano pastoso, corresponde a trabajos reportados que indican que la severidad de TFC en ese estadio de desarrollo del cultivo es la que provee la mejor relación con las pérdidas en rendimiento (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992; Paul & Munkvold, 2004). Los evaluadores fueron entrenados previamente a la evaluación, para lo cual se utilizó como referencia la escala diagramática de hoja completa y el sistema de entrenamiento de estimación visual de severidad causada por TFC (ver Capítulo V).

2.2 Rendimiento

Cuando los híbridos llegaron a madurez fisiológica, se recolectaron manualmente las espigas de los dos surcos centrales de las parcelas, se secaron y trillaron en trilladora estática. Posteriormente se pesaron los granos para obtener el rendimiento por hectárea (kg ha^{-1}) corrigiendo a un contenido de humedad del 15,5 %.

Tabla 1. Ensayos realizados para la generación de gradientes de enfermedad del tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Ensayo (n°)	Campaña	Localidad	Reacción del híbrido a TFC	Fungicidas (ingredientes activos) y dosis (mL ha ⁻¹)	Estadio fenológico del cultivo al momento de aplicación	Tratamientos*
1	2010-11	Eufrasio Loza	S	azoxistrobina+ciproconazol, 300 azoxistrobina+ciproconazol, 500 azoxistrobina+ciproconazol, 1000	Vt	4
2	2013-14	Monte Cristo	S	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V8, Vt, R2, V8+Vt, V8+Vt+R2, Vt+R2	7
3	2014-15	Monte Cristo	S	azoxistrobina+ciproconazol, 500 ciproconazol+difenoconazol, 300 piraclostrobina+epoxiconazol, 800	Vt, R2, Vt+R2	10
4	2015-16	General Paz	S	azoxistrobina+ciproconazol, 500 azoxistrobina+benzobindiflupir, 300 piraclostrobina+epoxiconazol+fluxopyroxad, 1200	Vt	4
5	2016-17	Deán Funes	S	azoxistrobina+ciproconazol, 250 azoxistrobina+ciproconazol, 500 picoxistrobina+ciproconazol, 600 bixafen+prothioconazol+trifloxistrobina, 300 prothioconazol+trifloxistrobina, 700 pydiflumetofen+difenoconazol, 600	R1	8
6	2016-17	Deán Funes	S	azoxistrobina+ciproconazol, 500 picoxistrobina+ciproconazol, 600 bixafen+prothioconazol+trifloxistrobina, 400 prothioconazol+trifloxistrobina, 300	Vt	5
7	2016-17	Deán Funes	S	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V14, R2, V14+R2	4
8	2013-14	Villa de María de Río Seco	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500 piraclostrobina+epoxiconazol, 350 trifloxistrobina+ciproconazol, 350 picoxistrobina+ciproconazol, 600	R1	5

Tabla 1 (continuación). Ensayos realizados para la generación de gradientes de enfermedad del tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Ensayo (n°)	Campaña	Localidad	Reacción del híbrido a TFC	Fungicidas (ingredientes activos) y dosis (mL ha ⁻¹)	Estadio fenológico del cultivo al momento de aplicación	Tratamientos*
9	2013-14	Monte Cristo	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V8, Vt, R2, V8+Vt, V8+Vt+R2, Vt+R2	7
10	2013-14	Monte Cristo	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V8, Vt, R2, V8+Vt, V8+Vt+R2, Vt+R2	7
11	2014-15	Monte Cristo	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500 piraclostrobina+epoxiconazol, 800 ciproconazol+difenoconazol, 300	Vt, R2, Vt+R2	10
12	2014-15	General Paz	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V10, Vt	3
13	2014-15	General Paz	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500 ciproconazol+difenoconazol, 300	V10, Vt, R2	7
14	2014-15	General Paz	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V10, Vt, R2	4
15	2016-17	Villa María	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500 piraclostrobina+epoxiconazol+fluxopyroxad, 1200	V11, R2	5
16	2016-17	Villa María	MS	azoxistrobina+ciproconazol, 500	V10, R2	3

S: susceptible; MS: moderadamente susceptible; Reacción: comportamiento sanitario del híbrido frente al TFC según marbete

*Tratamientos: número de combinaciones de manejo realizadas + testigo

2.3 Modelos de daños, UDE y UDA

2.3.1 Relación de variables

Se estimó la función de daño a partir del ajuste de un modelo de regresión lineal entre la severidad y el rendimiento. La función de daño se utilizó como predictor del rendimiento en función de la severidad de la enfermedad. Las mismas constituyen la base del modelo de punto crítico y fueron aplicadas para estimar los daños del TFC. El modelo de punto crítico para el TFC del maíz se desarrolló mediante una regresión lineal simple: $Y = a + bx + \varepsilon$. Dónde: Y = rendimiento, ' a ' = constante, ' b ' pendiente, ' x ' = porcentaje de severidad de la enfermedad y ε = error experimental.

Se ajustaron las ecuaciones generadas de cada experimento a una tonelada de producción (t) de granos, para una mejor interpretación de los resultados, y a continuación, se generaron coeficientes de daño (Cd), que expresan los kilogramos de producción que se pierden por cada punto de severidad registrado. Con este dato, se determinaron los umbrales de daño económico (UDE) y umbral de acción (UDA) para cada ensayo. Para el cálculo del UDE se utilizó la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada por Reis *et al.* (2001), usada en enfermedades causadas por hongos, siendo: $UDE = [Cc / (Pp \times Cd)] \times Ec$. Dónde: UDE = IE = intensidad de la enfermedad (medida como incidencia, severidad o intensidad); Cc = costo del control químico, considerando el costo del fungicida y de su aplicación (USD ha⁻¹); Pp = precio de la tonelada de maíz (USD t⁻¹); Cd = coeficiente de daño (tomado de la función de daño en función del rendimiento potencial); y Ec = eficiencia de control del fungicida utilizado, considerando la fungitoxicidad del producto, dosis y calidad de aplicación. El UDA, se fijó con un 20 % menos que el UDE, siguiendo lo propuesto por Carmona *et al.* (2012). La eficiencia de control (Ec) se consideró del 70 % y se estimó en base a ensayos de evaluación de fungicidas para TFC (ver Capítulo I).

Se utilizaron precios de referencia de la Bolsa de Cereales de Rosario, con un precio neto de la t de maíz de 112 USD t⁻¹, donde al precio bruto de la tonelada de maíz fue de 140 USD t⁻¹ (promedio de los meses de junio y julio durante las campañas 2007 a 2017), al cual se les descontaron 25 USD t⁻¹ por flete promedio desde la región centro norte de Córdoba a puerto Rosario y 3 USD t⁻¹ de gastos de comercialización. El costo de control (Cc) utilizado fue de 30 USD ha⁻¹, el cual incluye el precio de la dosis (para maíz) de un fungicida mezcla triazol + estrobilurina más la aplicación aérea.

En este trabajo el término daño se utilizará para definir cualquier reducción en la calidad y la cantidad de la producción, por ejemplo, kg ha⁻¹, y pérdida, como la reducción en el retorno financiero por hectárea, por ejemplo, USD ha⁻¹, debido a la acción de organismos nocivos (Bergamin Filho & Amorin, 1996); como los hongos patógenos que afectan al cultivo de maíz, en este caso, el TFC (Pinto *et al.*, 1997; Pereira, 1997; Reis *et al.*, 2004).

2.4 Pérdidas económicas

Para la estimación de pérdidas económicas (USD ha⁻¹) se utilizó la función de daño ajustada a una t de producción generada para cada ensayo realizado y se ajustaron a una producción potencial de 8,5 t ha⁻¹, y se utilizaron precios de referencia anteriormente detallados. El daño de la producción (kg ha⁻¹) se ajustó a la producción potencial (t ha⁻¹) para determinar el daño ajustado a la producción potencial. Luego, se determinó la producción obtenida a través de la diferencia entre la producción potencial menos la producción ajustada, se determinaron los ingresos obtenidos (precio t x producción obtenida) e ingresos potenciales (precio t x producción potencial), además de su diferencia, que representó las pérdidas económicas registradas en USD ha⁻¹ y en %.

2.5 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante análisis de la varianza y test de diferenciación de medias Tuckey utilizando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010), también se ajustaron modelos de regresión lineal.

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación de la enfermedad

La principal enfermedad que se presentó en los ensayos fue el TFC del maíz, causado por *E. turcicum* (Et). Sólo en algunos casos se registró roya común (*Puccinia sorghi*) o bacteriosis foliar, ambas en intensidades muy bajas (<1 % de severidad final), lo que no interfirió con los objetivos de los ensayos. Aun cuando se realizaron un mayor número de ensayos, sólo se seleccionaron 16 ensayos dónde hubo desarrollo del TFC, y la expresión de las demás enfermedades fue mínima o nula.

Los resultados indicaron que en el estado fenológico R4 se registraron altos valores de severidades finales de TFC (que varió entre 3,2 y 33,1 %), registradas en los testigos de todos los ensayos, permitiendo generar información bajo alta presión de la enfermedad. La severidad promedio en las parcelas testigos de los materiales susceptibles (S) fue de 17,8 %, y la registrada en los materiales moderadamente susceptibles (MS) fue de 8,7 %, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Materiales moderadamente resistentes (MR) y/o resistentes (R) no se utilizaron porque a partir de ellos, no se pueden generar gradientes de intensidad de la enfermedad. En los ensayos con materiales MS, los casos 8 y

16 presentaron severidades altas, similares a las registradas en los ensayos con materiales S (**Figura 1** y **Tabla 2**).

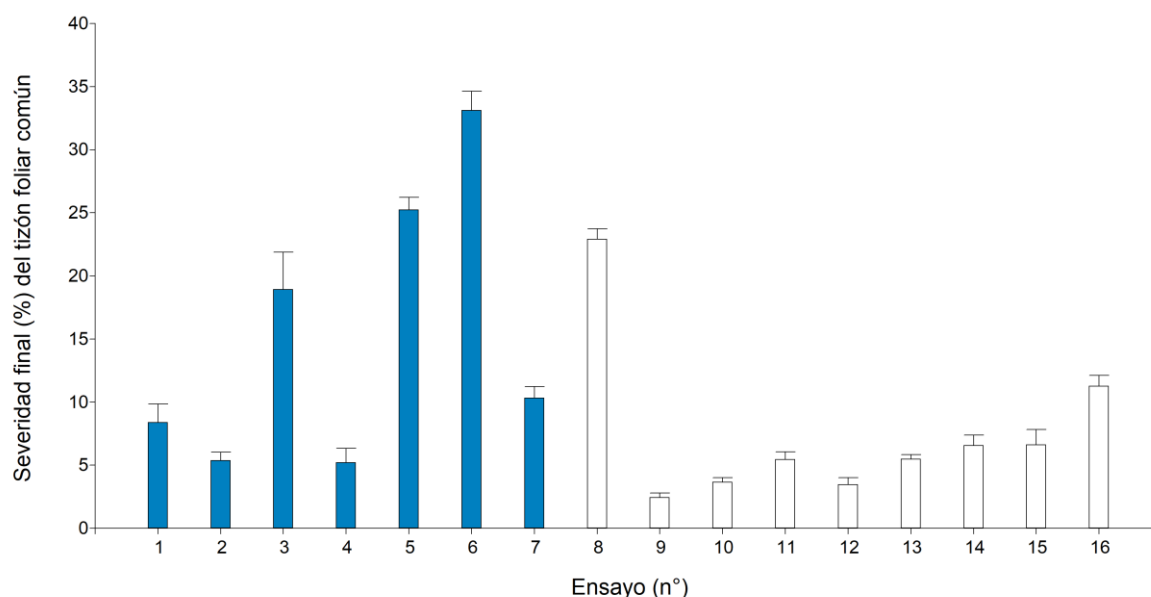


Figura 1. Severidades finales de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en los testigos de 16 ensayos para determinar umbrales de daño económico (UDE). Barras llenas: materiales susceptibles (S), barras vacías: materiales moderadamente susceptibles (MS).

3.2 Relación de variables

La severidad final del TFC presentó asociación negativa con la producción en forma estadísticamente significativa ($R^2=0,52$; $p=0,001$). Importantes gradientes de enfermedad se obtuvieron con las combinaciones de manejo (híbrido x fungicida x dosis x momento de aplicación) con diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) y en todos los ensayos se realizaron análisis de regresión entre las variables severidad final (%) y rendimiento (kg ha^{-1}), con fines comparativos. Todos los tratamientos lograron porcentajes de control y respuestas en rendimiento, que se diferenciaron estadísticamente ($p<0,05$) del testigo. Estas respuestas se vieron afectadas por el año, el fungicida, la dosis y el momento de aplicación. (**Tabla 2**, **Figuras 2 y 3**).

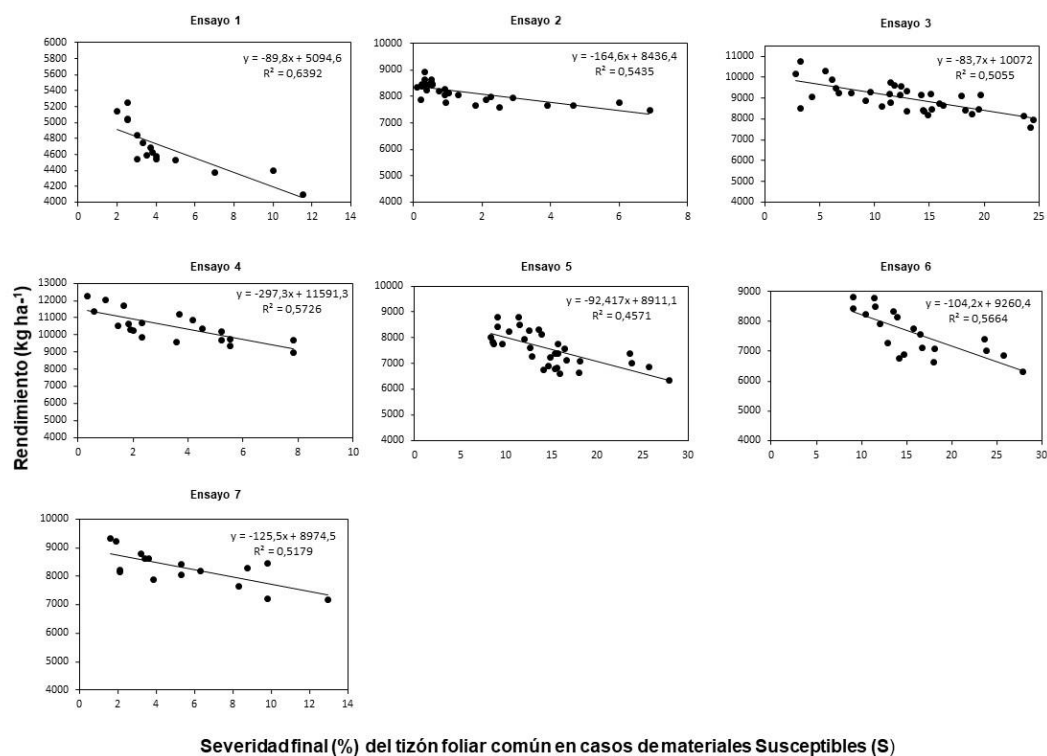


Figura 2. Regresiones entre la severidad final (%) y el rendimiento (kg ha⁻¹) para la generación de funciones de daño de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en materiales susceptibles (S).

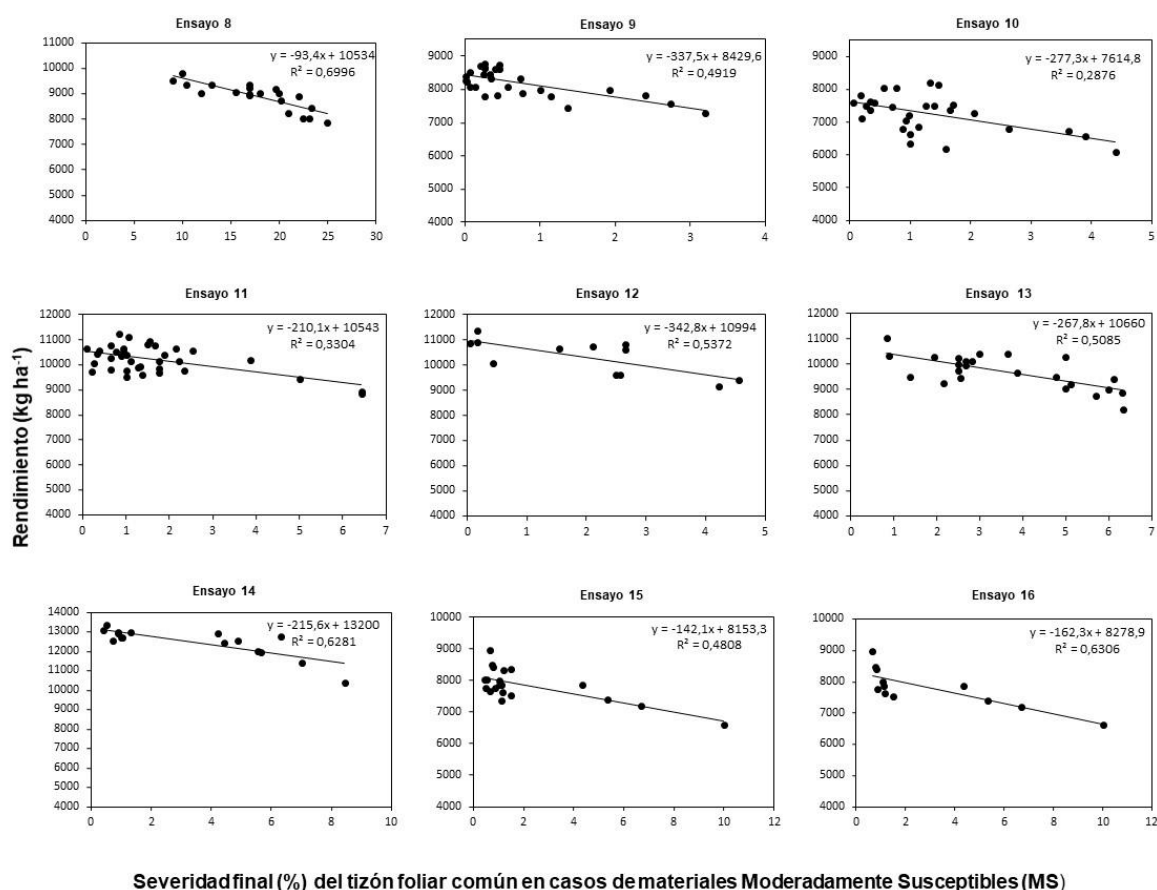


Figura 3. Regresiones entre la severidad final (%) y el rendimiento (kg ha⁻¹) para la generación de funciones de daño de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en materiales moderadamente susceptibles (MS).

3.3 Daños y funciones de daños

El efecto cuantitativo de la enfermedad estimado por la severidad en las hojas de referencia, sobre el rendimiento en granos de maíz, son representados por las ecuaciones de regresión o función de daño. El análisis de las funciones de daño determinó una correlación inversa entre el rendimiento y la severidad final de TFC en todos los ensayos realizados; la función de daño promedio ajustada a una tonelada de producción, fue $\hat{Y} = 1000 - 20,15 \text{ Sev}$ ($R^2=0,52$; $p=0,001$). La misma, explicó que por cada punto porcentual de severidad de TFC, en las hojas de mayor importancia del cultivo de maíz, se perdieron 20,15 kg por cada 1000 kg de producción. La severidad promedio de los testigos fue 12,7 % y permitió definir qué ocurrió un daño de 191,1 kg ha⁻¹ por cada 1000 kilogramos de producción de maíz (**Tabla 2**).

Tabla 2. Función de daño, pendiente (b), constante (a), coeficiente de determinación, nivel de significancia, función de daño ajustada a una tonelada de producción, severidad en testigo y daño (kg ha⁻¹) por tonelada producida, en 16 ensayos con tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en la región centro norte de Córdoba, en híbridos susceptibles (S) y moderadamente susceptibles (MS).

Ensayo (n°)	Reacción	Función de daño	Pendiente (b)	Constante (a)	R ²	p	Función de daño ajustada a t	Sev (%)	Daño (kg ha ⁻¹) por t
1	S	$\hat{Y} = -89,8x + 5094,6$	-89,8	5094,6	0,64	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 17,63 \text{ Sev}$	11,5	202,7
2	S	$\hat{Y} = -164,6x + 8436,4$	-164,6	8436,4	0,54	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 19,52 \text{ Sev}$	6,9	134,7
3	S	$\hat{Y} = -83,7x + 10\,072,1$	-83,7	10\,072,1	0,51	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 8,31 \text{ Sev}$	24,4	202,8
4	S	$\hat{Y} = -297,3x + 11\,591,3$	-297,3	11\,591,3	0,57	0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 25,39 \text{ Sev}$	7,8	198,8
5	S	$\hat{Y} = -96,8x + 8820,5$	-96,8	8820,5	0,45	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 10,99 \text{ Sev}$	27,8	305,5
6	S	$\hat{Y} = -104,2x + 9260,4$	-104,2	9260,4	0,57	0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 11,21 \text{ Sev}$	33,1	370,7
7	S	$\hat{Y} = -125,5x + 8974,1$	-125,5	8974,1	0,52	0,0005	$\hat{Y} = 1000 - 14,01 \text{ Sev}$	12,9	180,7
Promedio S					0,54	0,0002	$\hat{Y} = 1000 - 15,21 \text{ Sev}$	17,8	228,0
8	MS	$\hat{Y} = -93,4x + 10\,534,1$	-93,4	10\,534,1	0,70	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 8,88 \text{ Sev}$	23,4	207,8
9	MS	$\hat{Y} = -337,5x + 8429,6$	-337,5	8429,6	0,49	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 40,04 \text{ Sev}$	3,2	128,1
10	MS	$\hat{Y} = -277,3x + 7614,8$	-277,3	7614,8	0,29	0,0036	$\hat{Y} = 1000 - 36,43 \text{ Sev}$	4,4	160,3
11	MS	$\hat{Y} = -210,1x + 10\,543,1$	-210,1	10\,543,1	0,33	0,0002	$\hat{Y} = 1000 - 19,94 \text{ Sev}$	6,4	128,4
12	MS	$\hat{Y} = -342,8x + 10\,994,5$	-342,8	10\,994,5	0,54	0,0034	$\hat{Y} = 1000 - 31,18 \text{ Sev}$	4,6	141,9
13	MS	$\hat{Y} = -267,8x + 10\,660,0$	-267,8	10\,660,1	0,51	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 25,12 \text{ Sev}$	6,3	159,0
14	MS	$\hat{Y} = -215,6x + 13\,200,1$	-215,6	13\,200,1	0,63	<0,0001	$\hat{Y} = 1000 - 16,34 \text{ Sev}$	8,4	137,9
15	MS	$\hat{Y} = -142,1x + 8153,3$	-142,1	8153,3	0,48	0,0007	$\hat{Y} = 1000 - 17,42 \text{ Sev}$	10,1	175,9
16	MS	$\hat{Y} = -162,3x + 8278,9$	-162,3	8278,9	0,63	0,0020	$\hat{Y} = 1000 - 19,61 \text{ Sev}$	11,3	221,5
Promedio MS					0,51	0,0020	$\hat{Y} = 1000 - 23,88 \text{ Sev}$	8,7	162,3
Promedio general					0,52	0,001	$\hat{Y} = 1000 - 20,15 \text{ Sev}$	12,7	191,1

S: susceptible; MS: moderadamente susceptible; Sev: severidad; Reacción: comportamiento sanitario del híbrido al TFC

El comportamiento sanitario de los materiales permitió generar una función de daño ajustada una tonelada de producción según la susceptibilidad del genotipo de maíz, siendo $\hat{Y} = 1000 - 15,21 \text{ Sev}$ ($R^2=0,52$; $p=0,0002$) en los materiales susceptibles (S) y $\hat{Y} = 1000 - 23,88 \text{ Sev}$ ($R^2=0,51$; $p=0,002$) en los materiales moderadamente susceptibles (MS). Es decir, se registraron 15,21 kg ha⁻¹ de disminución de rendimiento por cada punto de severidad de TFC en los materiales S y de 23,88 kg ha⁻¹ en los materiales MS. Por otro lado, la severidad promedio en los testigos de los materiales S fue de 17,8 % [6,9 - 33,1] y 8,7 % [3,2 - 23,4] en los materiales MS, representando 226,4 kg ha⁻¹ de daños o disminución de rendimiento por cada 1000 kg ha⁻¹ producidos en los materiales S y de 162,3 kg ha⁻¹ en los materiales MS (**Tabla 2**).

Los valores de la pendiente (b) de la función de daño ajustada a una tonelada de producción presentaron variabilidad y oscilaron entre 8,31 y 40,04 con una media de 20,15 kg ha⁻¹; según esta tasa, por ejemplo, en el caso de un lote en producción con rendimiento estimado en 10 000 kg ha⁻¹, por cada punto de aumento en la severidad, medida en las tres hojas de referencia, el daño potencial (medido como disminución de rendimiento) será de 201,5 kg ha⁻¹.

La ecuación media generada a partir del promedio de los ensayos según la severidad de cada material, puede ser utilizada para estimar los daños causados por el TFC $\hat{Y} = 1000 - 20,15 \text{ Sev}$ (**Tabla 2**).

Es importante destacar que para utilizar esta función de daño es necesario conocer el rendimiento potencial de cada lote en producción. Por ejemplo, para un rendimiento potencial de 6000 kg ha⁻¹ con, una severidad de 1 %, se puede esperar que los daños, medidos como disminución de rendimiento a causa del TFC, serán de 120,9 kg ha⁻¹ [daños= (1 x 20,15) x 6]. Si la severidad fuera más elevada, por ejemplo, de 7 %, los daños causados por TFC provocarían una disminución en el rendimiento de 846,3 kg ha⁻¹ [daños= (7 x 20,15) x 6]. En el caso de lotes en producción con mayor rendimiento potencial, por ejemplo, con un rendimiento de 11 000 kg ha⁻¹, con una severidad de 1 %, podría provocar daños que llevarían a una disminución de 225,5 kg ha⁻¹ [daños = (1 x 20,15) x 11]; y en un lote del mismo potencial, pero con una severidad de 7 %, se espera que los daños alcancen una disminución de 1551,5 kg ha⁻¹ [daños= (7 x 20,15) x 11]. Por otro lado, si se conoce el perfil sanitario de los materiales se puede utilizar la ecuación para cada subgrupo, de esta manera, la ecuación para materiales S será $\hat{Y} = 1000 - 15,21 \text{ Sev}$, y para materiales MS $\hat{Y} = 1000 - 23,88 \text{ Sev}$.

3.4 Umbral de daño económico (UDE) y umbral de acción (UDA)

El umbral de daño económico (UDE) promedio fue 1,09 [0,55-2,65] y el umbral de daño de acción (UDA) promedio fue 0,88 [0,44-2,12]. El cálculo de los umbrales tiene como base a la función de daño promedio obtenida: $\hat{Y} = 1000 - 20,15 \text{ Sev}$, donde por cada punto de severidad ocurre un daño de 20,15 kg ha⁻¹ o un coeficiente de daño (Cd) de 0,02015 por tonelada. El coeficiente de daño (Cd), que representa cuántos kg de granos de maíz menos se obtiene por cada punto de severidad promedio de TFC, en las tres hojas de referencia, varió entre ensayos y según el comportamiento sanitario de cada híbrido analizado (**Tabla 3**).

Para la determinación de los umbrales, se sustituyeron los valores en la fórmula: $UDE = [Cc / (Pp \times Cd)] \times Ec$, considerando un Cc = USD 30 y de Pp = USD 112 por hectárea; el Cd se determinó según el siguiente cálculo: $Cd = 8,5 \times 0,0202 = 0,1713$ (si el rendimiento potencial del campo fuera de 8,5 t ha⁻¹) y la eficiencia de control Ec del 70 % o 0,7 en valores relativos.

Al sustituir en la fórmula con dichos valores, se genera un $UDE = 1,09 = [30 / (112 \times 0,1713)] \times 0,7$. Es decir que con 1,09 % de severidad en las hojas de referencia, la pérdida será igual al costo de control, por lo tanto, la aplicación se debería realizar antes de alcanzar este umbral, de ahí la importancia de estimar el Umbral de Acción (UDA), en este caso de 0,88 %. Es así que se indicará la aplicación de fungicida cuando con en el monitoreo del cultivo se detecten entre 0,88 a 1,09 % de severidad promedio en las tres hojas de referencia (**Tabla 3**). Se destaca que estos valores se construyen con información variable ya que el costo y la eficiencia de control como el precio de la tonelada de maíz, se modifican constantemente, así como el potencial productivo del cultivo.

El UDE mínimo y máximo registrados fueron de 0,55 y 2,65 respectivamente, quedando determinados los UDA mínimo y máximo como 0,44 y 2,12. Según el comportamiento sanitario particular de cada material frente al TFC se pudo calcular el UDE para materiales MS como 0,92 siendo su UDA de 0,74; y para los materiales S fue de UDE de 1,44 y el UDA fue de 1,15.

3.5 Pérdidas

Las pérdidas económicas promedio en los 16 ensayos fueron 181,9 USD ha⁻¹, con una mínima de 122,0 USD ha⁻¹ y una máxima de 352,9 USD ha⁻¹. En los materiales S el promedio de pérdidas fue de 217,0 USD ha⁻¹ [128,2 - 352,9], mientras que en los materiales MS el promedio fue de 154,5, 9 USD ha⁻¹ [122,0 - 210,9]. Estas pérdidas representan en promedio 19,1 % de ingreso no alcanzado o logrado a causa del TFC, siendo el promedio en los materiales susceptibles del 22,8 % [13,5 - 37,1] y en los materiales MS de 16,2 % [12,8 - 22,2] (**Tabla 4**).

Tabla 3. Función de daño ajustada a t de producción, coeficiente de daño, producción potencial esperada ($t\ ha^{-1}$), coeficiente de daño ajustado a la producción esperada, costo de control (fungicida mezcla triazol + estrobilurina, incluye aplicación aérea) ($USD\ ha^{-1}$), precio de la tonelada de maíz ($USD\ t^{-1}$), eficiencia de control, umbral de daño económico (UDE) y umbral de daño de acción (UDA), para un cultivo de maíz de $8,5\ t\ ha^{-1}$ de producción potencial, a $112\ USD\ t^{-1}$, $30\ USD\ ha^{-1}$ de costo de control, con una eficiencia de control del 70 % del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Ensayo (n°)	Reacción	Función ajustada a t de producción	Coeficiente de daño	Producción potencial ($t\ ha^{-1}$)	Coeficiente ajustado a producción	Costo control ($USD\ ha^{-1}$)	Precio de maíz ($USD\ t^{-1}$)	Eficiencia de control (%)	UDE	UDA
1	S	$\hat{Y} = 1000 - 17,63\ Sev$	0,01763	8,5	0,1499	30	112	0,70	1,25	1,00
2	S	$\hat{Y} = 1000 - 19,52\ Sev$	0,01952	8,5	0,1659	30	112	0,70	1,13	0,90
3	S	$\hat{Y} = 1000 - 8,31\ Sev$	0,00831	8,5	0,0706	30	112	0,70	2,65	2,12
4	S	$\hat{Y} = 1000 - 25,39\ Sev$	0,02539	8,5	0,2158	30	112	0,70	0,87	0,70
5	S	$\hat{Y} = 1000 - 10,99\ Sev$	0,01099	8,5	0,0934	30	112	0,70	2,01	1,61
6	S	$\hat{Y} = 1000 - 11,21\ Sev$	0,01121	8,5	0,0953	30	112	0,70	1,97	1,57
7	S	$\hat{Y} = 1000 - 14,01\ Sev$	0,01401	8,5	0,1191	30	112	0,70	1,57	1,26
Promedio S		$\hat{Y} = 1000 - 15,29\ Sev$	0,01529	8,5	0,1300	30	112	0,70	1,44	1,15
8	MS	$\hat{Y} = 1000 - 8,88\ Sev$	0,00888	8,5	0,0755	30	112	0,70	2,48	1,99
9	MS	$\hat{Y} = 1000 - 40,04\ Sev$	0,04004	8,5	0,3403	30	112	0,70	0,55	0,44
10	MS	$\hat{Y} = 1000 - 36,43\ Sev$	0,03643	8,5	0,3097	30	112	0,70	0,61	0,48
11	MS	$\hat{Y} = 1000 - 19,94\ Sev$	0,01994	8,5	0,1695	30	112	0,70	1,11	0,89
12	MS	$\hat{Y} = 1000 - 31,18\ Sev$	0,03118	8,5	0,2650	30	112	0,70	0,71	0,57
13	MS	$\hat{Y} = 1000 - 25,12\ Sev$	0,02512	8,5	0,2135	30	112	0,70	0,88	0,70
14	MS	$\hat{Y} = 1000 - 16,34\ Sev$	0,01634	8,5	0,1389	30	112	0,70	1,35	1,08
15	MS	$\hat{Y} = 1000 - 17,42\ Sev$	0,01742	8,5	0,1481	30	112	0,70	1,27	1,01
16	MS	$\hat{Y} = 1000 - 19,60\ Sev$	0,01960	8,5	0,1666	30	112	0,70	1,13	0,90
Promedio MS		$\hat{Y} = 1000 - 23,88\ Sev$	0,02388	8,5	0,2030	30	112	0,70	0,92	0,74
Promedio general		$\hat{Y} = 1000 - 20,15\ Sev$	0,02015	8,5	0,1713	30	112	0,70	1,09	0,88

S: susceptible; MS: moderadamente susceptible; Sev: severidad; Reacción: comportamiento sanitario del híbrido al TFC

Tabla 4. Pérdidas económicas (USD ha⁻¹) causadas por el tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en 16 ensayos en el centro norte de Córdoba, equiparadas para un cultivo de maíz de 8,5 t ha⁻¹ de producción, cuyo precio neto de referencia es de 112 USD t⁻¹.

Ensayo (n°)	Reacción	Función de daño ajustada a t	Sev (%)	Daño (kg ha ⁻¹) por t producida	Producción potencial (t ha ⁻¹)	Daño ajustado a la producción potencial (t ha ⁻¹)	Producción (t ha ⁻¹) obtenida (potencial -ajustado)	Precio t (USD)	Ingreso obtenida (USD ha ⁻¹)	Ingreso potencial (USD ha ⁻¹)	Pérdidas económicas (USD ha ⁻¹)	Pérdidas económicas (%)
1	S	$\hat{Y} = 1000 - 17,63 \text{ Sev}$	11,5	202,7	8,5	1,72	6,78	112	759,0	952	193,0	20,3
2	S	$\hat{Y} = 1000 - 19,52 \text{ Sev}$	6,9	134,7	8,5	1,14	7,36	112	823,8	952	128,2	13,5
3	S	$\hat{Y} = 1000 - 8,31 \text{ Sev}$	24,4	202,8	8,5	1,72	6,78	112	758,9	952	193,1	20,3
4	S	$\hat{Y} = 1000 - 25,39 \text{ Sev}$	7,8	198,8	8,5	1,69	6,81	112	762,7	952	189,3	19,9
5	S	$\hat{Y} = 1000 - 10,99 \text{ Sev}$	27,8	305,5	8,5	2,60	5,90	112	661,2	952	290,8	30,6
6	S	$\hat{Y} = 1000 - 11,21 \text{ Sev}$	33,1	370,7	8,5	3,15	5,35	112	599,1	952	352,9	37,1
7	S	$\hat{Y} = 1000 - 14,01 \text{ Sev}$	12,9	180,7	8,5	1,54	6,96	112	780,0	952	172,0	18,1
Promedio S		$\hat{Y} = 1000 - 15,29 \text{ Sev}$	17,7	227,9	8,5	1,93	6,56	112	735,0	952	217,0	22,8
8	MS	$\hat{Y} = 1000 - 8,88 \text{ Sev}$	23,4	207,8	8,5	1,77	6,73	112	754,2	952	197,8	20,8
9	MS	$\hat{Y} = 1000 - 40,04 \text{ Sev}$	3,2	128,1	8,5	1,09	7,41	112	830,0	952	122,0	12,8
10	MS	$\hat{Y} = 1000 - 36,43 \text{ Sev}$	4,4	160,3	8,5	1,36	7,14	112	799,4	952	152,6	16,0
11	MS	$\hat{Y} = 1000 - 19,94 \text{ Sev}$	6,4	128,4	8,5	1,09	7,41	112	829,8	952	122,2	12,8
12	MS	$\hat{Y} = 1000 - 31,18 \text{ Sev}$	4,6	141,9	8,5	1,21	7,29	112	816,9	952	135,1	14,2
13	MS	$\hat{Y} = 1000 - 25,12 \text{ Sev}$	6,3	159,0	8,5	1,35	7,15	112	800,6	952	151,4	15,9
14	MS	$\hat{Y} = 1000 - 16,34 \text{ Sev}$	8,4	137,9	8,5	1,17	7,33	112	820,7	952	131,3	13,8
15	MS	$\hat{Y} = 1000 - 17,42 \text{ Sev}$	10,1	175,9	8,5	1,50	7,00	112	784,5	952	167,5	17,6
16	MS	$\hat{Y} = 1000 - 19,61 \text{ Sev}$	11,3	221,5	8,5	1,88	6,62	112	741,1	952	210,9	22,2
Promedio MS		$\hat{Y} = 1000 - 23,88 \text{ Sev}$	8,7	162,3	8,5	1,38	7,12	112	797,5	952	154,5	16,2
Promedio general		$\hat{Y} = 1000 - 20,15 \text{ Sev}$	12,7	191,1	8,5	1,62	6,88	112	770,1	952	181,9	19,1

S: susceptible, MS: moderadamente susceptible; Sev: severidad; Reacción: comportamiento sanitario del híbrido al TFC; t: tonelada

4. DISCUSIÓN

Los UDE y UDA no son valores fijos ni rígidos, son variables y dependientes de las variaciones de los factores que lo originan (rendimiento potencial, precio del maíz, precio de la aplicación, eficiencia de control). Esta variabilidad es la que otorga a los umbrales su utilidad y beneficio, debido a que, frente a variaciones de cada año, lote o precios, es posible obtener un umbral que se corresponda con esa variación (Carmona, 2014).

En este sentido, los coeficientes de daño y umbrales generados, reflejan gran cantidad de variables, años y experiencias y servirán como base para el entendimiento del patosistema TFC - maíz, además podrán ser utilizados como referencia para la determinación de umbrales por los técnicos y productores. El UDE de 1,09 y el UDA de 0,88 generados en este trabajo, en forma práctica, constituyen la máxima cantidad de enfermedad tolerable económicamente antes de proceder a la aplicación de fungicidas. En algunos casos, estos valores pueden ser considerados como bajos para recomendar la aplicación química a campo, pero dadas las características de las epidemias, daños y pérdidas que puede causar el TFC del maíz, se consideran adecuados para su manejo.

Las diferentes combinaciones de estrategias de manejo permitieron generar gradientes de enfermedad, útiles para la obtención de las funciones de daño.

El número de tratamientos por ensayos es una variable que da más certezas y mayor número de tratamientos, más exactos los valores representados. Existen diferentes formas de generar gradientes de enfermedad: i) a través de inoculaciones del patógeno (Nwanosike *et al.*, 2015), ii) aplicaciones estandarizadas en tiempo de un mismo fungicida (Hikishima *et al.*, 2010), iii) dosis de fungicidas, iv) ingredientes activos fungicidas, v) momentos de aplicación, vi) genotipos de hospedantes (Garcés, 2011), y/o vii) combinaciones de las estrategias enunciadas (Hartam *et al.*, 1991; Danelli *et al.*, 2015; Carmona, 2014, Yang *et al.*, 1991, March *et al.*, 2011).

El tipo de cuantificación de una enfermedad usado en los estudios epidemiológicos es de gran importancia, especialmente cuando uno de los objetivos es la futura recomendación para productores y asesores (Carmona, 2014). En este trabajo se dio importancia a la severidad desarrollada en las hojas que mayor influencia tienen en el rendimiento del cultivo de maíz, y se utilizó el sistema de aprendizaje de estimación visual de área foliar afectada por el TFC (ver capítulo V). Cabe destacar que la incidencia (%) de la enfermedad, definida como el porcentaje de plantas/órganos afectados sobre el total evaluados, no se contempló en la presentación de los resultados y análisis, ya que superó el 95 % en todos los casos estudiados, careciendo de importancia su uso como valores de comparación.

Retomando el concepto que el UDE no es un valor estático, que varía para distintos cultivos y enfermedades, así como también según los años, la región, el cultivar, e incluso según fungicida y eficiencia del tratamiento; su utilización es muy valiosa en sistemas de

manejo ya que proporciona un criterio más para contribuir a la toma de la decisión de efectuar tratamientos con fungicidas; de allí la importancia del conocimiento del patosistema y del sistema productivo (March *et al.*, 2011)

Los umbrales generados deben representar los distintos niveles de producción alcanzables, si bien es cierto que la fórmula para calcular los umbrales tiene en cuenta los niveles productivos, para ser más reales, se debería cuantificar en distintos niveles.

Los coeficientes de determinación lineal (R^2) obtenidos oscilaron entre 0,29 y 0,70, con una media de 0,52; mientras Nwanosike *et al.* (2015) para el mismo patosistema registraron coeficientes de determinación entre 0,35 y 0,97, siendo que estos últimos autores trabajaron con inoculaciones artificiales, y usaron un fungicida no penetrante (mancozeb) con siete aplicaciones durante el ciclo del cultivo. El inóculo presente en la región centro norte de Córdoba fue suficiente para generar altas severidades finales (entre 3 y 35 %) de la enfermedad en los ensayos considerados para nuestra estimación. Al mismo tiempo, aplicaciones semanales de un producto no penetrante es poco comparable con la eficiencia que se logra con los fungicidas de nuevas generaciones (familias de triazoles y estrobilurinas) probados en los ensayos de este trabajo.

El coeficiente de determinación lineal (R^2), que indica la proporción del total de la variabilidad que se explica con el modelo de punto crítico, no es un dato fácil de comparar en trabajos de relaciones de variables como las presentadas. En otros patosistemas, diferentes autores presentan valores de coeficiente de determinación similares. Carmona (2014), halló valores entre 0,45 y 0,71 para el patosistema *Cercospora sojina* - *Glycine max*; para el patosistema *Phakopsora pachyrhizi* - *Glycine max*, Danelli *et al.* (2015), presentaron valores entre 0,11 y 0,90; Hartman *et al.* (1991) entre 0,76 y 0,98 y Yang *et al.* (1991) entre 0,71 y 0,98. Para el patosistema soja y enfermedades foliares (*Cercospora kikuchii* y *Erysiphe diffusa*), Godoy & Canteri (2004), registraron coeficientes de determinación entre 0,62 y 0,76.

El valor del coeficiente de determinación lineal (R^2) es distinto si se analizan los resultados de todas las repeticiones realizadas o se consideran sólo las medias de cada tratamiento. Al trabajar con las medias de cada tratamiento existe menor variabilidad y menor error, por lo que el coeficiente normalmente es mayor; es un parámetro que da confiabilidad a los trabajos realizados, pero es utilizado de formas diferentes por distintos autores. Danelli *et al.* (2015) y Nwanosike *et al.* (2015) consideran las medias de las repeticiones de los tratamientos realizados; Godoy & Canteri (2004) incluyen todas las repeticiones de cada tratamiento. O, por ejemplo, Carmona, (2014), no especifica con qué tipo de datos realizó las regresiones. En este trabajo se utilizaron todas las repeticiones, para observar la mayor variabilidad posible, a pesar de obtener coeficientes menores.

El uso de fungicidas, dosis y momentos de aplicación, fueron utilizados en estos ensayos únicamente como herramientas para generar gradientes de enfermedad entre parcelas y no para determinar la eficiencia específica de sus ingredientes activos, dosis o

momentos. El control se asoció al momento de aplicación y siempre fue mayor a medida que se aumentaron dosis y/o número de aplicaciones.

El estado fenológico de grano pastoso (R4) se reporta como el momento del cultivo en que la severidad de TFC provee la mejor relación con los daños ocasionados al rendimiento (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992). El ABCPE y la severidad en el punto crítico (semanas después de la floración, R4 aproximadamente) son utilizadas como variables para diferenciar aplicaciones de fungicida y la intensidad del TFC en maíz pisingallo (Quezada-Soares & Lopes (1993). De la misma manera, en nuestro trabajo se utilizó la severidad registrada en el estado fenológico de grano pastoso (R4), además de ser coincidente con el momento de mayor intensidad de infección (severidad) por parte del TFC en la región centro norte de Córdoba. El UDE nunca deberá ser excedido a lo largo del desarrollo del cultivo y en este caso la aplicación de un producto fitosanitario se justifica ya que sus beneficios superarán ampliamente los costos de su uso (Carmona, 2014).

Marinelli & March (2004) y March *et al.* (2011) destacan que en toda enfermedad existe una curva epidémica verdadera y otra visual. Esta última, no incluye las infecciones durante el período de incubación (hasta el desarrollo de síntomas), mientras que la verdadera si las considera. Por ello, es importante considerar ambas curvas para la utilización de los UDE y los UDA. De esta manera al momento de la toma de decisión basándose en un UDA se debería incluir en el análisis, al menos un período de incubación, para evitar que la toma de decisión sea tardía. Desde el momento de inoculación de diez aislamientos de *Et* en híbridos de maíz, se necesitaron entre 7 y 14 días para la visualización de los síntomas típicos, según De Rossi *et al.* (2015). Este período podría ser incluido en la toma de decisión, fortaleciendo la necesidad de estar atentos al umbral de acción (UDA).

Los UDE siguen siendo una herramienta útil al momento de la toma de las decisiones en una estrategia de manejo integrado, siempre considerando que cada sistema productivo es un sistema complejo en el que el patosistema es un subsistema más, y por lo tanto sujeto a la influencia de las interrelaciones entre todos los componentes del sistema (March *et al.*, 2011). Es importante mencionar que una de las aplicaciones más importantes de la epidemiología es predecir en cuanto disminuyen los rendimientos (daños) por cada aumento de la enfermedad (severidad). Estos estudios involucran la fenología del cultivo sin que ella se transforme en el indicador del momento de la pulverización química (Carmona, 2014). Por lo tanto, es necesario destacar que los umbrales siempre deben estar comprendidos dentro del período crítico de generación de rendimiento del hospedante (Vt/R1 a R4 en maíz) permitiendo la integración entre el fungicida, la vida del hospedante y los criterios epidemiológicos de control.

Según Carmona (2014), en una enfermedad policíclica la primera aplicación química es decisiva y debe ser estratégicamente posicionada para proteger más eficientemente el cultivo durante un período más largo, por lo tanto, la discusión de su momento es de crucial

importancia. Por ello, la indicación del momento de uso de fungicidas basado en la fenología puede ser necesario, pero no suficiente, debido a que si es la fenología la que debe protagonizar la indicación del uso de fungicidas, podría suceder que las aplicaciones sean innecesarias (si es que la enfermedad no se presenta), generando no sólo impacto ambiental sino también disminución del retorno económico y aumento en la presión de selección hacia razas resistentes. También podría suceder que el momento de aplicación basado exclusivamente en la fenología no sea el correcto, porque los niveles de enfermedad ya presentes sean altos, y por lo tanto la aplicación sea tardía sin lograr los resultados esperados. Por todo ello, el principio del UDE como indicador del inicio de las pulverizaciones, puede constituir la piedra fundamental del manejo integrado de enfermedades, debido a que involucra tanto aspectos económicos como epidemiológicos.

La tolerancia es la habilidad de un cultivar en relación a otro con el mismo potencial productivo, de reducir menos su producción, bajo el mismo nivel de intensidad de enfermedad (Vale *et al.*, 2004). El nivel de tolerancia de cada material frente al patógeno se debería mencionar en los trabajos de estimación de daños y pérdidas, ya que es una herramienta fundamental para comprender lo que se puede esperar como respuesta a la toma de decisión.

Según Carmona (2014), son pocas las enfermedades donde se han desarrollado los umbrales para orientar la aplicación de fungicidas. Entre las dificultades para generar y adoptar umbrales de daño se pueden detallar las siguientes: i) los umbrales necesitan ser obtenidos de información proveniente de ensayos a campo que a veces resultan complejos de ejecutar debido a que se deben lograr gradientes de enfermedad, ii) son pocos los datos confiables para estimar daños, o para cuantificar enfermedad, iii) los umbrales necesitan ser acompañados por un monitoreo minucioso y frecuente, iv) los umbrales son generalmente bajos, lo que ocasiona que el productor debe considerar una infraestructura y logística para ejecutar rápidamente los tratamientos.

Con respecto específicamente al patosistema estudiado en este trabajo, en la literatura consultada, sólo se hallaron dos umbrales propuestos. El primero, generado por Carmona *et al.* (2014) basado en un solo experimento de gradientes de enfermedad obtenido con aplicaciones de fungicidas, donde el umbral de acción (UDA) del TFC es de una mancha promedio por hoja (medida en he , $he+1$, y $he-1$) de hasta un cm de largo. Esta metodología de medir por longitud del síntoma y no severidad o número de lesiones, es una forma de disminuir los errores que pueden ocurrir en la toma de decisión por la forma de crecimiento del TFC en las hojas afectadas. Conclusiones similares se describen en el Capítulo V de la presente Tesis, donde se corrobora que el TFC es una enfermedad que debe ser medida no sólo por el número de lesiones, sino que se debe tener en cuenta el tamaño de una lesión, para estimar la severidad real. A diferencia del trabajo de Carmona *et al.* (2014) donde se propone un UDA por la realización de un ensayo, los UDE y UDA propuestos en el presente trabajo se basan en promedios de 16 ensayos, lo que hace que los resultados sean más

robustos y tengan mayor representatividad. Otro UDE para el TFC es el presentado por Camera *et al.* (2019), de 0,62 lesiones de TFC promedio en las hojas de mayor importancia (he, he+1 y he-1); el mismo no explica cómo se generó, ni con qué información y sólo aclara que se usó una función ajustada a una tonelada de producción de $\hat{Y} = 1000 - 27,41$. Esta función es similar a las generadas en el presente trabajo, con la diferencia que esos autores proponen número de lesiones, y en este trabajo, se emplea la severidad visual estimada.

En un trabajo reciente, multi anual y multiambiental, sobre manejo químico del TFC, realizado por Carpane *et al.* (2019) no determinaron umbrales para TFC, pero llegaron a la conclusión que los mejores resultados para manejar la enfermedad se obtuvieron cuando realizaron aplicaciones de fungicidas con severidades foliares menores al 2 %. Este es un resultado muy similar al del Capítulo I de esta tesis, donde se destaca que en el 70 % de los ensayos realizados durante 10 años en diferentes ambientes del centro norte de Córdoba, se obtuvieron resultados positivos de control y de retorno económico cuando la aplicación se realizó con severidades menores al 1,5 %. Ambos trabajos manifiestan la importancia de realizar el control químico del TFC cuando la severidad es baja, coincidiendo con los resultados aquí obtenidos.

Al analizar el impacto económico del manejo adecuado del TFC, asumiendo que los daños pueden ser estimados por comparación entre un tratamiento testigo sin aplicar y otros aplicados con fungicida, se determinaron pérdidas económicas entre 122,0 a 352,9 USD ha⁻¹, las mismas representaron en promedio 19,1 % [12,8 - 37,0] de dinero no logrado a causa del TFC. Por ello, la posibilidad de obtener retorno económico frente a la decisión de realizar una aplicación de fungicida para el control del TFC del maíz, fue muy importante. Los daños y pérdidas determinados representan el potencial impacto de esta enfermedad para la economía de Argentina, y denota la importancia que esta enfermedad puede significar en años donde se desarrollen epidemias del TFC del maíz.

5. CONCLUSIONES

La severidad foliar del TFC presentó asociación negativa con la producción del cultivo de maíz, es decir a mayor severidad foliar menor fue la producción del cultivo generada.

Los ensayos de gradientes de severidades de TFC generados por diferentes fungicidas, dosis y momentos de aplicación, resultaron útiles para generar estudios epidemiológicos, los cuales permitieron obtener funciones de daño que se utilizaron para calcular umbrales de daño económico y umbrales de acción.

Los umbrales generados son parte fundamental de las estrategias de manejo integrado del patosistema *Exserohilum turicum* - *Zea mays* que permiten tomar decisiones con sustento técnico y económico.

6. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo II

- Adipala, E.; Lipps, P.E. & Madden L.V. 1993. Use of disease assessment methods in predicting yield losses due to northern leaf blight of maize. *African Crop Science Journal*, 1(2): 159-173.
- Babu, R.; Mani, V.P.; Pandey, A.K.; Pant, S.; Rajeshsingh, K.; Kundu, S. & Gupta, H.S. 2004. Maize Research at Vivekanand Parvatiya Krishi Anusandhan Sansthan - An Overview. Technical Bulletin, Vivekanand Parvatiya Krishi Anusandhan Sansthan, Almora, 21: 31.
- Bergamin Filho, A. & Amorim, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, pp. 289.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2019. Panorama Agrícola Semanal (PAS). Departamento de estimaciones agrícolas. ISSN 2408-4344.
- Bowen, K.L, Everts, K.L. & Leath, S. 1991. Reduction in winter wheat in North Carolina due to powdery mildew and leaf rust. *Phytopathology* 81: 503-511.
- Camera, J.N.; Koefender, J.; Golle, D.P.; Bortolotto, R.P.; Horn, R.C.; Flores, E.F.& Deuner, C.C. 2019. Esporulação in vitro e inoculação de *Exserohilum turcicum* em milho. *Summa Phytopathologica* 45(3): 308-312.
- Campbell, C.L. & Madden, L.V. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. New York. John Wiley, pp. 532.
- Carmona M.A.; Viotti G. & F. Sautua. 2014. Tizón del maíz: cuantificación de daño y propuesta de umbral. *Actas 3º Congreso argentino de fitopatología*, pp 260.
- Carmona, M.; Sautua, F. & Reis, E. M. 2012. Sistemas de ayuda a la decisión de control químico en cultivos de trigo y cebada. En: *Cereales de invierno: la investigación científico-técnica desarrollada por el INBA, CONICET-FAUBA, el BIOLAB Azul, CIC-PBA-FIBA-FAUNCPBA, la facultad de Agronomía-UBA, y la Facultad de Agronomía UNCPBA*. Stenglein, S.A.; Rogers, W.J.; Carmona, M. & Lavado R. (compiladores). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, pp. 155-166.
- Carmona, M.A. 2014. Enfermedades de fin de ciclo y mancha ojo de rana en el cultivo de soja: desarrollo y validación de un sistema de puntuación y determinación del umbral de control. Trabajo de tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, pp. 180.

- Carpane, P. D.; Peper, A.M. & Kohn, F. 2019. Management of northern corn leaf blight using Nativo (trifloxistrobin + epoxiconazole) fungicide applications. Crop Protection. JCRP 104982. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104982>.
- Chandrashekara, C.; Jha, S.K.; Arunkumar, R. & Agrawal, P.K. 2014. Identification of new sources of resistance to turicum leaf blight and maydis leaf blight in maize (*Zea Mays* L.). SABRAO Journal of Breeding and Genetics 46(1): 44-55.
- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 1985. Managing trials and reporting data for CIMMYT's International Maize Testing Programme. CIMMYT, El Batán, Mexico.
- Danelli, A.L.D.; Reis, E.M. & Boaretto, C. 2015. Modelo de ponto crítico para estimar danos causados pela ferrugem asiática em soja. Summa Phytopathologica 41(4): 262-269.
- De Rossi, R.L., Guerra, F.A., Vuletic, E., Plazas, M.C., Brücher, E. & Guerra, G.D. Informes fitosanitarios región centro norte de Córdoba. 2013, 2014, 2015, 2016, 2017. ISSN: 451-5949.
- De Vries, J. & Toenniessen, G. 2001. Securing the harvest, biotechnology and breeding methods for African crops. Wallingford: CABI publication.
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2010. InfoStat, software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fancelli, A.L. & Dourado-Neto, D. 2003. Milho: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba. ESALQ/USP, pp. 208.
- Fancelli, L.A. 1988. Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). (Tese de Doutorado). Piracicaba. Universidade de São Paulo.
- Ferguson, L.M. & Carson, M.L. 2004. Spatial diversity of *Setosphaeria turcica* sampled from eastern United states. Phytopathology 94: 892-900
- Fischer, K.S. & Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. In: Goldsworthy, P.R. & Fisher, N.M. (eds.). The physiology of tropical field crops. Wiley, pp. 231-248.
- Garcés Fiallos, F.R. 2011. Modelo de ponto crítico para estimar danos causados na cultura de feijoeiro. Ciencia y Tecnología 4(1): 1-4.
- Godoy, C.V. & Canteri, M.G. 2004. Efeito da severidade de oídio e crestamento foliar de cercospora na produtividade da cultura da soja. Fitopatologia Brasileira 29:526-531.

- Guerra, G.D & De Rossi, R. 2010. Panorama Sanitario del cultivo de maíz en la región centro norte de Córdoba, Jornada de Actualización Técnica de Cultivos de Verano - CREA - Campaña 2009/2010, pp.34-36.
- Harlapur, S.I. 2005. Epidemiology and management of turcicum leaf blight of maize caused by *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs. Ph.D. Thesis, Univ. Agric. Sci., Dharwad, India.
- Hartman, G.L.; Wang, T.C. & Tschanz, A.T. 1991. Soybean rust development and the qualitative relationship between rust severity and soybean yield. Plant Dis. 75(6): 596-600.
- Hikishima, M.; Canteri, M.G.; Godoy, C.V.; Koga, L.J. & da Silva, A. 2010. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. Tropical Plant Pathology 35(2): 096-103.
- Hooker, A.L. 1979. Estimating disease losses based on the amount of healthy tissues during the plant reproductive period. Genetika 11: 181-192.
- Kachapur, M.R. & Hegde, R.K. 1988. Studies on turcicum blight of maize (*Zea mays* L.) caused by *Exserohilum turcicum* (Pass) Leonard & Suggs with special reference to crop loss assessment. Plant pathology newsletter, 6: 33-35.
- Levy, Y. & Leonard, K.J. 1990. Yield loss in sweet corn in response to defoliation or infection by *Exserohilum turcicum*. Journal of Phytopathology 128: 161-171
- March, G.J.; Oddino, C.M.; García, J.; Marinelli, A.D. & Rago, A.M. 2011. Umbral de daño económico de la viruela del maní según eficiencia fungicida y potencial de rendimiento. 26º Jornada Nacional de Maní. 15 de septiembre de 2011. General Cabrera, Córdoba (AR): CIA – INTA, pp. 48-49.
- Marinelli, A.D. & March, G.J. 2004. Viruela. En: Enfermedades del maní en Argentina. Marinelli, A.D. & March, G.J., Eds. Biglia Impresiones, Córdoba, pp. 13-19.
- Munford, J.D. & Norton, G.A. 1984. Economics of decision making in pest management. Annual. Review Entomology. 29:157-174.
- Nutter, F.W. & Jenco, J.H. 1992. Development of a critical-point yield loss model to estimate yield losses in corn caused by *Cercospora zea-maydis*. Phytopathology 82:994.

- Nwanosike, M.R.O.; Mabagala, R.B. & Kusolwa, P.M. 2015. Effect of northern leaf blight (*Exserohilum turcicum*) severity on yield of maize (*Zea mays* L.) in Morogoro, Tanzania. International Journal of Science and Research 4(9). ISS: 2319-7064. ID: SUB157735.
- Pataky, J. K.; Headrick, J.M. & Suparyono. 1988. Classification of sweet corn hybrid reactions to common rust, NLB, Stewart's wilt and Goss wilt and associated yield reductions. Phytopathology 78 (2): 172-178
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. Phytopathology 82: 370-375.
- Paul, P. A., & Munkvold, G. P. 2004. A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. Phytopathology 94: 1350-1357.
- Pereira, O.A.P. 1997. Doenças do milho (*Zea mays* L.). In Kimati, H., Amorim, L., Bergamin Filho, A., Camargo, L.E.A. & Rezende, J.A.M. (Eds). Manual de Fitopatologia. Volume 2: Doenças de plantas cultivadas. 3ed. São Paulo: Agronômica Ceres, pp. 538-555.
- Perkins, J.M. & Hooker, A.L. 1981. Reactions of eighty-four sources of chlorotic lesion resistance in corn to three biotypes of *Helminthosporium turcicum*. Plant Dis. 65: 502-504
- Pinto, N.F.J.A.; Fernandez, F.T. & Oliveira, E. 1997. Milho. En: Vale, F.X.R. & Zambolim, L. (Eds). Controle de doenças de plantas: grandes culturas. Viçosa. UFV-MEC, pp. 821-864.
- Quezado-Soares, A.M. & Lopes, C.A. 1993. Produção de grãos de milho-pipoca sob diferentes níveis de infecção por *Exserohilum turcicum*. Fitopatologia Brasileira 18: 506-511.
- Raymundo, A. D. & Hooker, A. L. 1981. Measuring the relationship between northern corn leaf blight and yield losses. Plant Dis 65: 325-327.
- Reddy, T. R., Reddy, P.N. & Reddy, R.R. 2013. Turcicum leaf blight of maize incited by *Exserohilum turcicum*: A review. International Journal of Applied Biology and Pharmaceutic technology 5(1): 54-59.
- Reis, E.M. & Beviláqua, L.C. 1996. Relação entre a incidência da ferrugem da folha, causada por *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, e o rendimento de grãos de aveia CV UPF 13, em Passo Fundo, 1995. En: XVI Reunião da Comissão Sulbrasileira de Pesquisa de Aveia, 1996. Florianópolis, SC. UFSC, pp. 239-240.

- Reis, E.M. 1989. Metodología para la determinación de pérdidas causadas en trigo por *Gibberella zeae* (Schw) Petch. In: Kholi, M.M. Ed. 1989. Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. México, D.F.: CIMMYT. ISBN: 968-6127-37-2.
- Reis, E.M., Casa, R.T. & Hoffmann, L.L. 1997. Efeito do oídio, causado por *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* sobre o rendimento de grãos de trigo. Fitopatologia Brasileira 22: 492-495.
- Reis, E.M., Casa, R.T., Hoffmann, L.L. & Mendes, C.M. 2000. Effect of leaf rust on wheat grain yield. Fitopatologia Brasileira 25:67-71.
- Reis, E.M., Hoffmann, L.L. & Blum, M.M.C. 2002. Modelo de ponto crítico para estimar os danos causados pelo oídio em cevada. Fitopatologia Brasileira 27:644-646.
- Reis, E.M.; Casa, R.T. & Bresolin, A.C. 2004. Manual de diagnose e controle de doenças do milho. 2ed. rev. atual. Lages: Graphel, pp. 144.
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J. & Benson, G.O. 1993. How a corn plant develops? Ames: Iowa State University of Science and Technology, pp. 26, Special Report, 48.
- Sandini, I.E. & Fancelli, A.L. 2000. Milho: estratégias de manejo para a região sul. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, pp. 209.
- Stern, V.M.; Smith, R.F.; van den Bosch, R. & Hagen, K.S. 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29:81-101.
- Tejeda Rodriguez, A. 2018. El aporte de la cadena del maíz a la economía argentina. Presentación en Congreso Maizar 2018. Competitividad con Desarrollo. 22 de mayo, Buenos Aires. <http://www.congresomaizar.org.ar/presentaciones/maiz/tejeda.pdf>, acceso 26/12/2018.
- Teng, P.S. & Johnson, K.B. 1988. Analysis of epidemiological components in yield loss assessment. In: Kranz, J. & Rotem, J. (ed.). Experimental techniques in plant disease epidemiology. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 179-189.
- Ullstrup, A.J. & Miles, S.R. 1957. The effect of some leaf blights of corn on grain yield. Phytopathology 47: 331-336
- Vale, R. F.X.; Cintra de Jesus, W. & Zambolin, L. 2004. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte. Editora Perffil. ISBN: 85-89800-02-4, pp. 243-270.

- Yang, X.B.; Tschanz, A.T.; Dowler, W.M. & Wang, T.C. 1991. Development of yield loss models in relation to reduction of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 81(11): 1420-1426.
- Zadoks, J.C. & Schein, R.D. 1979. *Epidemiology and plant disease management*. New York, Oxford University Press, pp. 427.

CAPÍTULO III

MODELADO DE LA SEVERIDAD DEL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL MAÍZ CAUSADO POR *Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS EN RELACIÓN CON LAS CONDICIONES AMBIENTALES REGISTRADAS A NIVEL DE SITIO

MODELING SEVERITY OF NORTHERN CORN LEAF BLIGHT CAUSED BY *Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS RELATIVE TO SITE-SPECIFIC ENVIRONMENTAL CONDITIONS

RESUMEN

Con el objetivo de desarrollar un modelo y un software que ayuden a detectar los momentos claves en la toma de decisiones en el cultivo de maíz, y posibiliten un manejo más eficiente del tizón foliar común del maíz (TFC), se modelizó la severidad final (SF) de esta enfermedad, causada por *E. turcicum*, en el estado fenológico R4 y se correlacionó con variables ambientales de paso horario. Así, la SF de 171 casos, fue transformada en su logaritmo natural (ln) y correlacionada con variables ambientales: i) número de horas de mojado foliar (HMF) definido como horas con HR \geq 80%; ii) número de horas de horas de secado foliar (HSF) definido como número de horas con HR \leq 40% y iii) eventos conducentes (EC), definida por la combinación de días con ocho o más horas de mojado foliar (\geq 8 HMF) con una temperatura promedio entre 18 y 27 °C, todas interpoladas de al menos tres estaciones meteorológicas cercanas a cada sitio de ensayo. Así, se detectó un patrón de relación consistente y positivo con la acumulación de EC y HMF ($R^2 > 0,50$) en días previos a la evaluación de severidad a campo y una relación inversa con la acumulación de HSF ($R^2 > 0,50$). Este patrón se repitió, en diferente cuantía, en todos los perfiles de comportamiento sanitario de híbridos frente a TFC ($R^2 = 0,30 - 0,85$). Se determinó que el inicio del desarrollo de la enfermedad fue fuertemente influenciado por la acumulación de HMF, y luego de ello por la $T \geq 18^\circ\text{C}$. Se definió un modelo que permitió estimar el desarrollo de la severidad del TFC del maíz en la región centro norte de Córdoba para cada híbrido sembrado satisfactoriamente ($R^2 > 0,50$), y así poder predecir los daños y pérdidas que puede ocasionar el TFC y emitir una alerta a través de un software. Esta sería hasta el presente, el primer modelo de enfermedades obtenido con datos intensivos ambientales de paso horario. El modelo y el software diseñados son herramientas promisorias para detectar momentos claves en la toma de decisiones en el cultivo de maíz, lo que posibilita un manejo más adecuado, eficiente y rentable.

Palabras claves: helmintosporiosis, *Zea mays*, epidemiología, pronóstico, predicción

ABSTRACT

With the aim of generating a model and software tool that help to detect the key dates for decision making in corn crop and allow a more efficient management of northern corn leaf blight (NCLB), caused by *E. turcicum*, final severity (FS) of this disease was modeled at R4 phenological stage and was correlated with hourly environmental variables. Thus, FS of 171 cases was natural log transformed (nl) and correlated with environmental variables: i) number of hours of leaf wetness (HLW), defined as the number of hours with $RH \geq 80\%$; ii) number of hours of leaf dryness (HLD), defined as number of hours with $RH \leq 40\%$; and iii) predisposing events (PEs), defined by the combination of days with eight or more hours of leaf wetness (≥ 8 HLW) with a mean temperature between 18 and 27 °C, all of them interpolated from at least three meteorological stations near each assay site. Thus, a positive pattern consistent with accumulation of PEs and HLD ($R^2 > 0.50$) on days prior to field evaluation of severity and an inverse relationship with accumulation of HLD ($R^2 > 0.50$) were detected. This pattern was the same, with different magnitudes, in all the profiles of health behavior of hybrids against NCLB ($R^2 = 0.30 - 0.85$). The onset of disease development was strongly influenced by accumulation of HLW, followed by $T \geq 18^\circ\text{C}$. The model developed allowed us to estimate development of NCLB severity in the central-northern region of Córdoba for each successfully grown hybrid ($R^2 > 0.50$); thus, damages and losses that NCLB may generate can be predicted and a warning can be issued through the software tool. To date, this is the first disease model obtained with intensive hourly environmental data. The designed model and software are promising tools to detect key decision-making dates in corn crop, enabling a more appropriate, efficient and profitable management.

Keywords: Northern corn leaf blight, *Zea mays*, *helminthosporium*, forecast

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia actual hacia una agricultura más sostenible está generando cambios en los métodos y estrategias de manejo y control de las enfermedades. Una de las herramientas que tiene más futuro es la utilización de sistemas de ayuda a la toma de decisiones basados principalmente en modelos de predicción epidemiológica (Llorente & Montesinos, 2004). Un modelo epidemiológico es una simplificación de la realidad y intenta resumir los principales componentes implicados en una epidemia (Van Maanne *et al.*, 2003). Dentro de las áreas de la Fitopatología, la Epidemiología, es la que posee mayor potencial para el uso de modelos, porque se enfoca en la descripción ambiental de las enfermedades en el tiempo y en el espacio (Costa *et al.*, 2002). Toda investigación epidemiológica se sustenta en la base conceptual del triángulo epidémico, a través del estudio de sus componentes: patógeno, hospedante y ambiente, así como de sus interacciones (Bergamin Filho & Amorin, 1996). El mismo, se convierte en un tetraedro o pirámide cuando se considera al tiempo y al hombre como factores que interactúan en la expresión de la enfermedad; siendo que el hombre en el transcurso del tiempo, decide estrategias y técnicas de manejo de las enfermedades que permiten al cultivo expresar su potencial de rendimiento, dentro de normas para lograr sistemas productivos sustentables.

Los factores climáticos y ambientales, juegan un papel fundamental tanto en el inicio como en la dispersión de una enfermedad, y cada patógeno tiene sus propios requisitos óptimos para la infección y su desarrollo. Los patógenos generalmente se transmiten por el viento y la lluvia, pero los que se transmiten por vectores dependerán de las condiciones adecuadas para ellos. Algunas esporas se liberan bajo condiciones de secado, otras, en películas de agua que surgen de lluvia o rocío en la superficie de la hoja. Luego, la alta humedad, o la presencia de agua libre en una superficie de la hoja, son necesarias para iniciar el proceso de infección, y la temperatura puede acelerar o ralentizar las etapas de desarrollo de una enfermedad. El conocimiento y comprensión de las condiciones ambientales que favorecerán la infección y desarrollo de una enfermedad debería permitir que las medidas de control sean dirigidas más específicamente, permitiendo a los fitopatólogos producir pronósticos de posibles epidemias de enfermedades (Hardwick, 2002).

Los modelos, son la representación de una realidad, en un marco formal accesible a la ciencia y de ser adecuados pueden constituirse en la base de los sistemas de previsión de las enfermedades en los vegetales. Se diseñan registrando datos de las enfermedades y de las variables meteorológicas a lo largo del ciclo de cultivo. El objetivo de un modelo es relacionar las variaciones ocurridas en la enfermedad con los cambios registrados en las variables meteorológicas a nivel local, en un intervalo temporal (Bombelli *et al.*, 2012). Los mismos pueden ser clasificados en descriptivos, predictivos y conceptuales o de funcionamiento (Kranz & Royle, 1978; Jeger & Tamsett, 1983). Los modelos descriptivos

describen la enfermedad, pero generalmente no revelan los mecanismos implicados en los procesos, son utilizados en epidemiología comparativa. Los modelos predictivos, que de hecho son también descriptivos, permiten predecir la evolución de la epidemia y son los más utilizados en programas de control de enfermedades. Los modelos descriptivos y de predicción suelen estar basados en herramientas matemáticas. Los modelos conceptuales o de funcionamiento sirven para intentar explicar los mecanismos implicados en los procesos epidemiológicos.

Los modelos poseen un gran potencial como soporte de estrategias, y su uso, es de gran valor en la toma de decisiones relativas al manejo de enfermedades (De Wolf & Isard, 2007). El modelado de sistemas de enfermedades a escala requiere un uso eficiente de la información meteorológica y de Internet como medio de comunicación, de rápida disponibilidad para la comunidad de usuarios (Bombelli *et al.*, 2012). El uso de modelos tiene tres objetivos básicos: i) permitir un mayor beneficio económico para el productor, a través de un control más eficiente de la enfermedad y/o la reducción del número de aplicaciones de fungicidas, ii) disminuir el riesgo de epidemias severas, evitando los serios daños que ocurren en los cultivos cuando coincide la presencia de inóculo con las condiciones ambientales predisponentes, y iii) reducción de la contaminación ambiental, causada por el uso excesivo de productos químicos (Fry, 1982; Campbell & Madden, 1990; Bergamin Filho & Amorin, 1996).

En los últimos años, se registra en Argentina un aumento en la presencia, desarrollo e importancia de las enfermedades en el cultivo de maíz, lo que preocupa a productores, técnicos e investigadores (De Rossi & Couretot, 2013; De Rossi, *et al.*, 2016). Entre las enfermedades que se desarrollan en el cultivo de maíz y que se incrementan en fechas de siembra tardía en Argentina, se destaca TFC. La importancia de esta enfermedad es variable según año y región, condiciones ambientales y grado de susceptibilidad del material sembrado. La dinámica de estas enfermedades se asocia estrechamente con la evolución del sistema productivo del cultivo en Argentina. De esta forma, las modificaciones en el sistema de producción que procuran obtener más estabilidad y aumento de la productividad, son también causantes de las variaciones registradas en las enfermedades (Teyssandier, 2005).

Algunas de las prácticas agronómicas que tienen mayor influencia en el desarrollo de las enfermedades en el cultivo de maíz, son: i) adopción generalizada de la siembra directa, ii) altas proporciones de maíz en las rotaciones (en algunas regiones, monocultivo), iii) adopción masiva de fechas de siembras tardías en la mayoría de las zonas productoras del país, iv) genética, elección de materiales según el potencial y la estabilidad de rendimiento, sin atender el comportamiento sanitario, v) aumento de la adopción de materiales templados (más sensibles a enfermedades) sobre tropicales o cruza en las regiones cálidas del país, con la consecuente siembra de híbridos no seleccionados genéticamente para zonas

específicas, vi) generación de “puentes verdes” por la ampliación de áreas y fechas en las que se siembra maíz y/o presencia de plantas voluntarias (“guachas”), vii) escaso uso de fertilización en maíces de fechas tardías y viii) baja adopción del monitoreo en el cultivo (Figura 1).

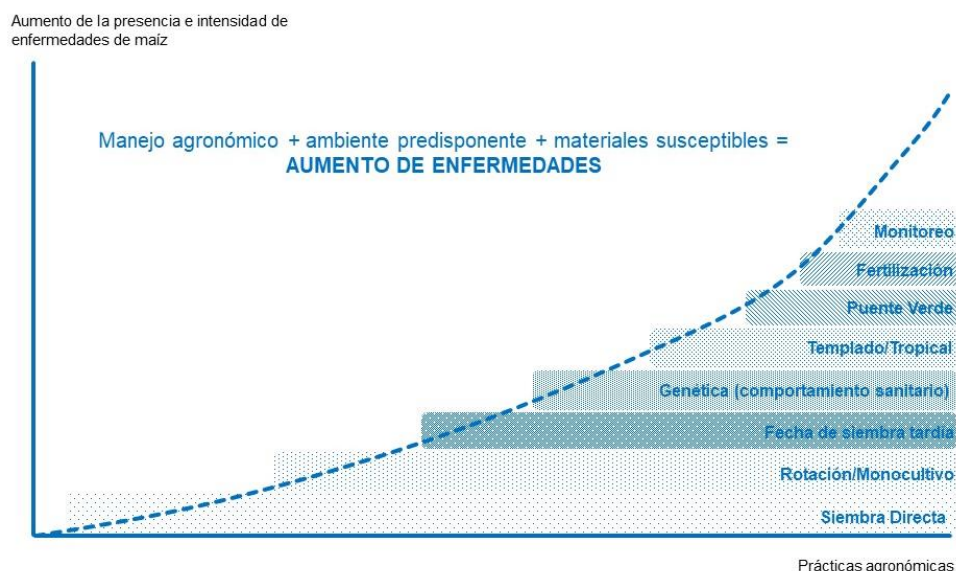


Figura 1. Diagrama conceptual de la influencia de prácticas agronómicas en el desarrollo de enfermedades en el cultivo de maíz.

Estas prácticas en el cultivo de maíz, contribuyeron en los últimos años, al aumento de patógenos que afectan órganos aéreos y causantes de pudriciones de raíz, tallo y espiga. Entre ellas, se destaca la adopción masiva de las siembras tardías a nivel nacional, ya que esta práctica hace que el cultivo de maíz transcurra sus fases reproductivas en ambientes con condiciones que son propicias al desarrollo de enfermedades. Períodos prolongados de mojado foliar (>10 h) y temperaturas moderadas (17 - 28 °C) son condiciones ambientales favorables para el desarrollo del TFC (Munkvold & White, 2016), siendo las siembras tardías de maíz las que poseen mayor probabilidad de registrar estas condiciones por grandes períodos de tiempo. En siembras tardías de diciembre, entre un 25 a 45 % de los híbridos evaluados en R4 mostraron severidades superiores a 5 % (Parisi *et al.*, 2014; Parisi *et al.*, 2015; De Rossi *et al.*, 2015), y en materiales susceptibles, niveles próximos a 60 % (De Rossi *et al.*, 2015). La influencia del ambiente en siembras tardías se pudo demostrar cuando un set de 31 híbridos sembrados el 27-12-2013 presentó un 3 % de materiales con severidades finales de TFC mayores a 10 %, mientras que el mismo set sembrado el 30-01-2014, 34 días después, presentó un 71 % de los materiales con severidades finales iguales o superiores a 10 % (De Rossi *et al.*, 2014). Durante las campañas 2007-08, 2009-10 y 2010-11, en el centro norte de Córdoba, se registraron lotes con una severidad superior al 52 % (De Rossi *et al.*, 2015).

El modelado de variables ambientales que determinen mayores probabilidades para la detección temprana del TFC del maíz, generará información para tomar mejores decisiones en el manejo de la enfermedad. Existen dos enfoques para construir pronósticos, el fundamental y el empírico, siendo el enfoque fundamental realizado en cámaras de crecimiento con ambiente controlado, evaluando principalmente el efecto térmico y la duración del mojado sobre la infección; por otro lado, el enfoque empírico surge del análisis de datos históricos de registros de enfermedad (severidad, incidencia, intensidad) y de las condiciones ambientales locales en un sitio dado (Krause & Massie, 1975). Siguiendo este último enfoque, se propuso desarrollar un modelo para entender y explicar el desarrollo tizón foliar común (TFC), causado por el hongo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, en la región centro norte de Córdoba y generar un software específico que ayude a prevenir el desarrollo de la severidad de la enfermedad empleando variables ambientales con datos intensivos de paso horario, generando suficiente antelación, una alerta para técnicos y productores, para evitar el daño potencial de la enfermedad.

2. MATERIAL Y METODOS

2.1 Datos

La base de datos estuvo conformada por: i) registros de enfermedad o información sanitaria de ensayos a campo de maíz y ii) registros meteorológicos de estaciones meteorológicas ubicadas en cercanías de los sitios de los ensayos a evaluar.

2.1.1 Registros de enfermedad

La información sanitaria del cultivo de maíz fue extraída de la base de datos de Sanidad de Maíz del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica de Córdoba (ver Capítulo I), donde se encuentran recopilados diez años de evaluaciones de sanitarias del cultivo de maíz en la región centro norte de Córdoba.

Como variable de enfermedad se utilizó a la severidad del TFC registrada en el estado fenológico R4 o grano pastoso (Ritchie *et al.*, 1992) en las hojas del tercio medio de las plantas [hoja de la espiga (he), espiga + 1 (he+1) y espiga - 1 (he-1)], la cual fue estimada como el porcentaje entre el área foliar afectada y el área foliar sana, siendo el dato final el promedio de las tres hojas evaluadas (he, he+1 y he-1) de seis plantas tomadas al azar por cada material estudiado. Las hojas evaluadas y estado fenológico seleccionado son los que proveen la mejor asociación entre la severidad registrada y las pérdidas del rendimiento (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992, Paul & Munkvold, 2004).

Los evaluadores del TFC fueron entrenados para unificar criterios en la lectura de la enfermedad, con la escala diagramática de hoja completa y el software de entrenamiento de estimación visual de severidad, desarrollados en el Capítulo V.

Para este análisis, se utilizaron 171 casos, definiendo como caso a la combinación de i) híbrido, ii) localidad y iii) campaña agrícola. Los mismos correspondieron a 19 híbridos sembrados en 29 localidades del centro norte de Córdoba, ubicadas entre las latitudes -32.519004 y -29.432741, durante diez ciclos agrícolas entre 2007-08 y 2016-17.

Los híbridos de maíz fueron categorizados en cuatro clases (luego de varios análisis preliminares), según la severidad promedio de los diez años evaluados, como: i) resistentes (R), severidad promedio menor a 1 %; ii) moderadamente resistentes (MR), severidad promedio entre 1,1 y 5 %; iii) moderadamente susceptibles (MS), severidad promedio entre 5,1 y 10 %; iv) susceptibles (S), severidad promedio mayor al 10%.

2.1.2 Registros meteorológicos

Para el estudio de la relación ambiente y enfermedad, se identificaron variables meteorológicas asociadas al desarrollo de la enfermedad que fueron registradas y/o calculadas a partir de sensores meteorológicos automáticos, con registro cada 20 minutos (para asegurar el registro de al menos un dato por hora), tomados de estaciones meteorológicas con control de calidad de registros (homologadas internacionalmente) que pertenecen a una red de 120 estaciones meteorológicas de aeródromos, de Estaciones Experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Servicio Nacional de Meteorología, establecimientos privados, gobierno de la provincia de Córdoba y destacamentos militares. Los datos registrados cada 20 minutos se agruparon y se llevaron a “paso horario”, donde cada dato por hora es el promedio de las “n” observaciones dentro de esa hora. Para cada sitio de caso de estudios se tomaron los valores de tres estaciones meteorológicas situadas próximas al sitio (latitud y longitud), dentro de un radio de 50 km y luego los datos se interpolaron con el método de inversa de la distancia. El comportamiento de cada variable meteorológica para cada sitio de estudio se pudo reconstruir utilizando datos históricos.

Para el estudio a nivel provincial de precipitaciones (mm), se utilizó una serie histórica de los años 2006 a 2015 de datos meteorológicos de paso horario de estaciones distribuidas en la provincia de Córdoba, luego los datos fueron interpolados con el método de Kriging (Krige, 1951; Li & Heap, 2011).

Para el estudio a nivel de la región centro norte de Córdoba de horas de mojado foliar (HMF) y horas de secado foliar (HSF), se utilizó una serie histórica de los años 2009 a 2016 de datos climáticos de paso horario, de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Córdoba, Pilar y Villa María de Río Seco. Al mismo tiempo, se dividieron las variables

estudiadas en las tres fases (Niña, Niño y Neutro) del fenómeno de El Niño - Oscilación Sur (ENSO), para incluir este fenómeno como otra variable de estudio e impacto en el desarrollo de TFC. Las variables, fueron graficadas para su mejor interpretación.

2.2 Modelado de datos epidemiológicos

2.2.1 Severidad

La severidad estimada del TFC fue transformada a su logaritmo natural (\ln), ya que la misma es usualmente utilizada en trabajos de epidemiología, porque la evolución de las enfermedades en el tiempo es esencialmente no lineal (Gilligan, 1990), correspondiendo la dinámica de su progresión a leyes potenciales (Mandelbrot, 1997), y porque los modelos y transformaciones matemáticas son herramientas que ayudan a comparar epidemias, diferenciar comportamientos de variedades y fungicidas, generar modelos de previsión y auxiliar en la cuantificación de daños y pérdidas (Bergamin Filho, 1995).

2.2.2 Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas estudiadas fueron: i) temperatura o T ($^{\circ}\text{C}$); ii) humedad relativa porcentual (HR%); iii) nubosidad (escala x/8); iv) número de horas de mojado foliar (HMF) definido como horas con $\text{HR} \geq 80\%$; v) número de horas de secado foliar (HSF) definido como número de horas con $\text{HR} \leq 40\%$; vi) precipitaciones pluviales (P_p días), como número de días con precipitaciones; vii) precipitaciones pluviales acumuladas (P_p mm), como milímetros acumulados; viii) diferencia $\text{HMF} - \text{HSF}$, como horas de mojado foliar menos horas de secado foliar acumuladas (Rowlandson *et al.*, 2015) (**Tabla 1**).

Se construyó una variable denominada Eventos Conducentes (EC), definida por la combinación de los días con ocho o más horas de mojado foliar (≥ 8 HMF) con una temperatura promedio entre 18 y 27 $^{\circ}\text{C}$. Estos rangos, para ambas variables determinan en condiciones controladas, las mayores probabilidades de desarrollar la enfermedad, siendo los mismos seleccionados de acuerdo a la bibliografía consultada (Meredith, 1966; Levy & Cohen, 1983a; Khatri, 1993; De Rossi, 2012; Munkvold & White, 2016) y ampliados en un 10 %, con la finalidad de obtener mayor sensibilidad.

El logaritmo natural (\ln) de la severidad en cada caso, se correlacionó con las diferentes variables ambientales registradas y reconstruidas, para las cuales se obtuvieron sus correspondientes coeficientes de determinación de Pearson (R^2).

El número de EC que necesita cada categoría de comportamiento sanitario (o reacción R, MR, MS y S de cada material frente al TFC), fue estudiado para analizar su efecto sobre el

desarrollo de la enfermedad, evaluando el número total acumulado en los últimos 20 días de registro, que da origen al mayor valor discriminante.

Tabla 1. Variables ambientales analizadas para la generación de un modelo de predicción de desarrollo de la severidad foliar del tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Variable	Abrev.	Tipo de Variable	Paso Horario y Dato	Descripción
1 Temperatura	T (°C)		Un dato cada 20 min	Temperatura promedio horaria
2 Humedad Relativa %	HR%	Simple Aislada	Un dato cada 20 min	Humedad relativa % promedio horaria
3 Nubosidad	Nub		Un dato (x/8) por día	Nubosidad (escala x/8)
4 Mojado Foliar	HMF		n° horas por día	n° de horas de mojado foliar (HMF), definido como HR% ≥ 80%
5 Secado Foliar	HSF	Simple Acumulada	n° horas por día	n° de horas de secado foliar (HSF), definido como HR% ≤ 40%
6 Precipitaciones mm	Pp mm		mm por día	Precipitaciones pluviales acumuladas en mm
7 Precipitaciones días	Pp días		0: sin Pp y 1: con Pp	n° de días con precipitaciones > 1 mm
8 Mojado - Secado	Dif M-S	Combinada	n° horas por día	Diferencia entre n° de horas HMF y n° de horas HSF
9 Evento Conducente	EC		Un dato por día (0 sin EC y 1 con EC)	EC (TFC) si cumple 2 criterios: 1) ≥8 HMF y 2) T prom >18 °C y <27 °C

La serie de variables biometeorológicas para cada híbrido fue reconstruida, seleccionando y probando diferentes lapsos temporales, hasta definir finalmente 15 períodos de 20 días, comenzando 90 días previos a la evaluación de severidad en el estado fenológico de grano pastoso (R4), estos periodos se tomaron cada 5 días con superposición (**Figura 2**). Para cada uno de los 15 períodos se determinó el coeficiente de determinación de Pearson (r) entre el logaritmo natural (ln) de la severidad y las variables ambientales.

Para realizar las correlaciones se evaluaron “n” casos para cada híbrido, donde se asumió: i) que el tiempo (t) de observación de enfermedad se dejó fijo en el estado fenológico R4, ii) que el tiempo de observación de las variables ambientales fue de 90 días divididos en 15 períodos (con superposición), iii) que para cada híbrido a mayor severidad foliar registrada en R4 habrían ocurrido mayores condiciones ambientales favorables (EC, HMF, HSF, etc.) y

en forma inversa, menores condiciones desfavorables (HSF), iv) que las lesiones foliares son irreversibles, es decir una vez desarrolladas serán detectadas en la evaluación en R4, v) que los distintos lapsos temporales entre los EC detectados y la severidad hallada en R4 corresponden a la variabilidad climática propia del sitio experimental, vi) que un lapso de evaluación de 90 días es suficiente para este tipo de evaluación, vii) que el coeficiente de determinación de Pearson (R^2) es un buen indicador para cuantificar estas correlaciones, y viii) la relación presentada (R^2) siempre será por híbrido y que cada híbrido estudiado contiene “n” casos.

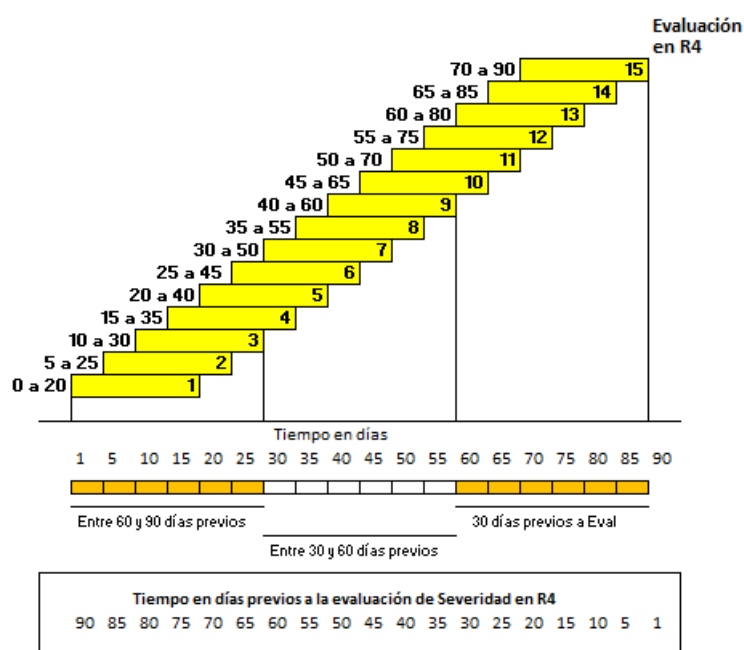


Figura 2. Diagrama de 15 períodos de 20 días con superposición, para correlacionar variables ambientales con el logaritmo natural (ln) de la severidad de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

2.3 Software para estudio del desarrollo de enfermedades en tiempo real

Se desarrolló un programa computacional (software), denominado Alerta de Enfermedades Fúngicas (AEF), que utiliza como base el modelo de predicción generado y registra las condiciones ambientales de un establecimiento agropecuario puntual. El mismo permite realizar un seguimiento exhaustivo de las condiciones ambientales que predisponen al desarrollo del TFC, tomando la información de al menos tres estaciones meteorológicas cercanas e interpolando su información por el método de Kriging, y automáticamente envía una alerta al usuario registrado, para que pueda monitorear el cultivo, informándose de la probabilidad que se desarrolle la enfermedad. Al ingresar datos de producción de cultivo (fecha de siembra, híbrido sembrado, comportamiento sanitario, coordenadas geográficas) se

accede a las condiciones ambientales y se puede hacer un seguimiento visual de las condiciones que se van registrando. El software permite gestionar la información de cada establecimiento agropecuario que se ingrese, como así también de todos los lotes que se deseen seguir. Para acceder al software se deberá enviar un mail a laboratorio.fitopatologia@ucc.edu.ar, donde se creará un nuevo usuario, se proveerá de un nombre y una clave de acceso. Luego se deberá ingresar con esa información al sitio <http://intruder.com.ar/app/ucc/ucc.aspx>. Para los aspectos de programación se contó con el asesoramiento de la empresa Intruder Agro, y el mismo se llevó a cabo con el lenguaje de programación C# perteneciente a Microsoft.NET Framework 4.5, utilizando highcharts para los gráficos.

2.4 Análisis de datos

Los programas Excel e InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010) fueron utilizados para evaluar la asociación entre las variables ambientales con la variable epidémica (ln de la severidad) y obtener un modelo de desarrollo de la enfermedad basado en variables ambientales.

Del sistema de modelado generado se diferenciaron tres fases de resultados: i) descripción a escala regional sobre los hallazgos de las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de epidemias de TFC en el área geográfica de estudio, ii) modelado para correlacionar variables y predicción del desarrollo del TFC, y iii) generación de un programa computacional (software) utilizando la información generada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción a escala regional

El resultado de la descripción de la acumulación de HMF y HSF en la región centro norte de Córdoba, muestra gráficamente como a partir de fines de enero y comienzos de febrero, inicia la fase positiva de acumulación de HMF, condiciones conducentes para el desarrollo del TFC. Este fenómeno de acumulación positiva de HMF, se repitió en las tres fases del fenómeno ENSO, hallándose que las HMF acumuladas fueron mayores en la fase Niño que en las fases Neutro o Niña. Los máximos valores se encontraron durante los últimos días de febrero y primeros de marzo, manteniéndose altos hasta el mes de abril. Estos períodos fueron coincidentes con el período crítico de definición del rendimiento (floración y llenado de granos) de los maíces de fecha de siembra tardía. Estas etapas de mayor humedad (HMF) se asocian a una menor cantidad de horas de secado foliar (HSF), constituyéndose ambas variables como determinantes de condiciones conducentes al TFC del maíz. Estas variables son independientes y cada una está definida por los porcentajes de humedad

relativa que hace que sean diferentes y es posible que se generen días con HR con valores entre 40 y 80% (**Figuras 3**).

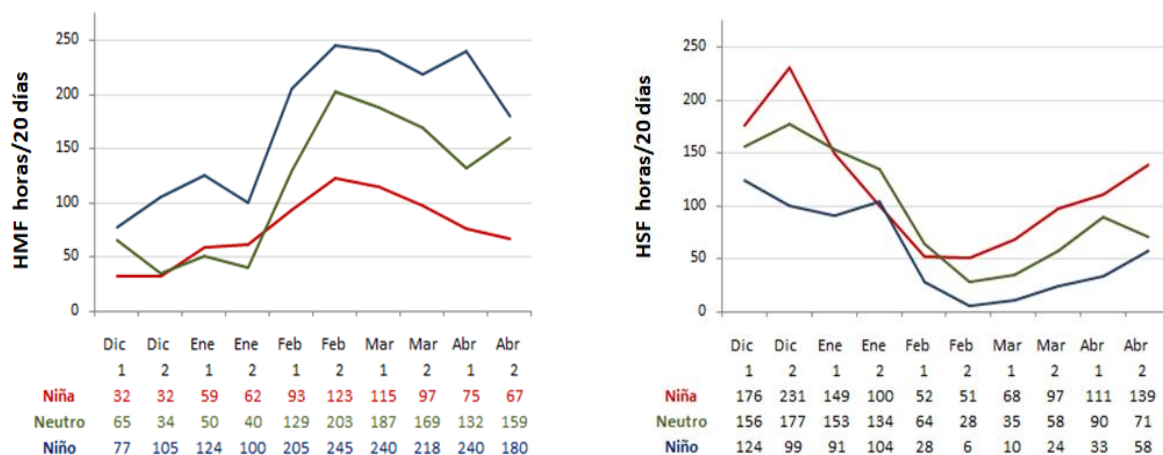


Figura 3. Acumulación de horas de mojado foliar (HMF) (izq.) y acumulación de horas de secado foliar (HSF) (der.), el centro norte de Córdoba, diferenciados por fase del fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENSO).

El patrón de precipitaciones pluviales (lluvias en mm) mapeadas para la provincia de Córdoba para la serie histórica 2006-2015, mostró que en la región centro norte de Córdoba en las fases del Niño y Neutra, las lluvias son más abundantes que en la fase Niña (**Figura 4**). Estos resultados concuerdan con el patrón de horas de mojado foliar (HMF) anteriormente descrito, ya que se puede considerar la humedad relativa como gotas ultrafinas de agua, o bien, agua en estado gaseoso. Por ello, es necesario destacar la importancia de la humedad relativa y de las precipitaciones en la generación de condiciones ambientales conducentes para el desarrollo del TFC del maíz, principalmente en maíces sembrados en fechas tardías.

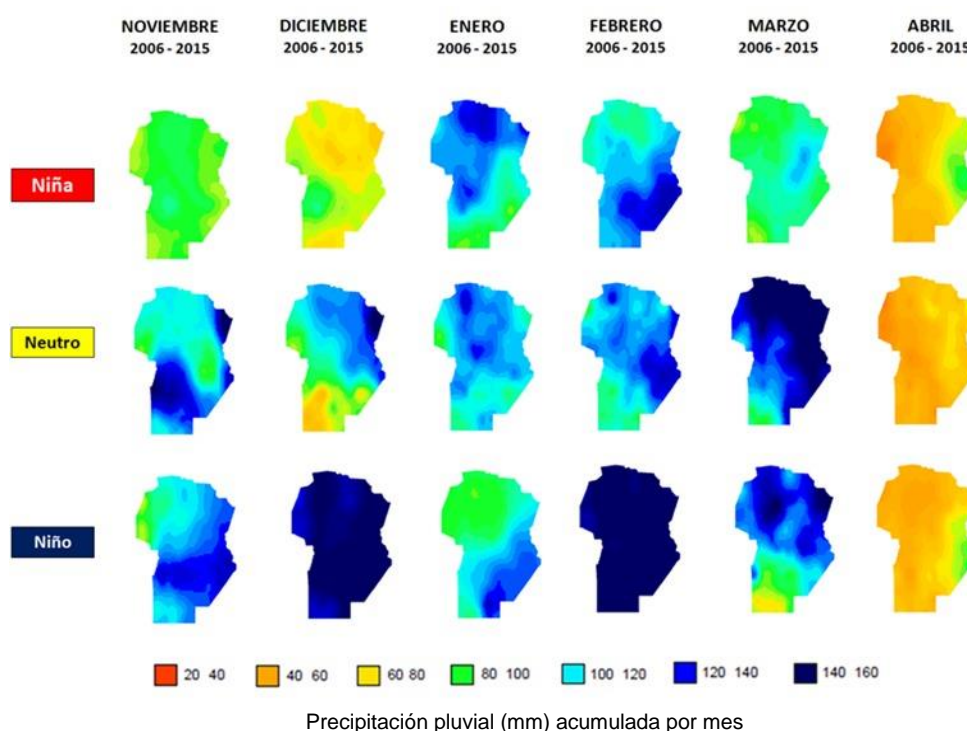


Figura 4. Precipitación pluvial (mm) acumulada por mes en la provincia de Córdoba, mapas diferenciados por mes y por fase del fenómeno de El Niño - Oscilación Sur (ENSO).

3.2 Modelado

Las horas de mojado foliar (HMF), horas de secado foliar (HSF) y eventos conducentes (EC) fueron las variables ambientales seleccionadas para el modelado por ser las de mayor significancia estadística ($R^2 > 0,50$; $p < 0,05$). Se descartaron las variables temperatura, humedad relativa porcentual, nubosidad, precipitaciones pluviales, precipitaciones pluviales acumuladas, diferencia HMF - HSF, ya que presentaron valores de relaciones bajos ($R^2 < 0,25$) en todos los casos estudiados. Como ejemplos se presentan las correlaciones y el coeficiente de determinación de Pearson (R^2) con respecto al logaritmo natural (\ln) de la severidad del TFC evaluada en el tercio medio en R4 para las tres variables seleccionadas, en un grupo de diez casos de cada perfil genético (S, MS, R y MR) (**Figura 5**).

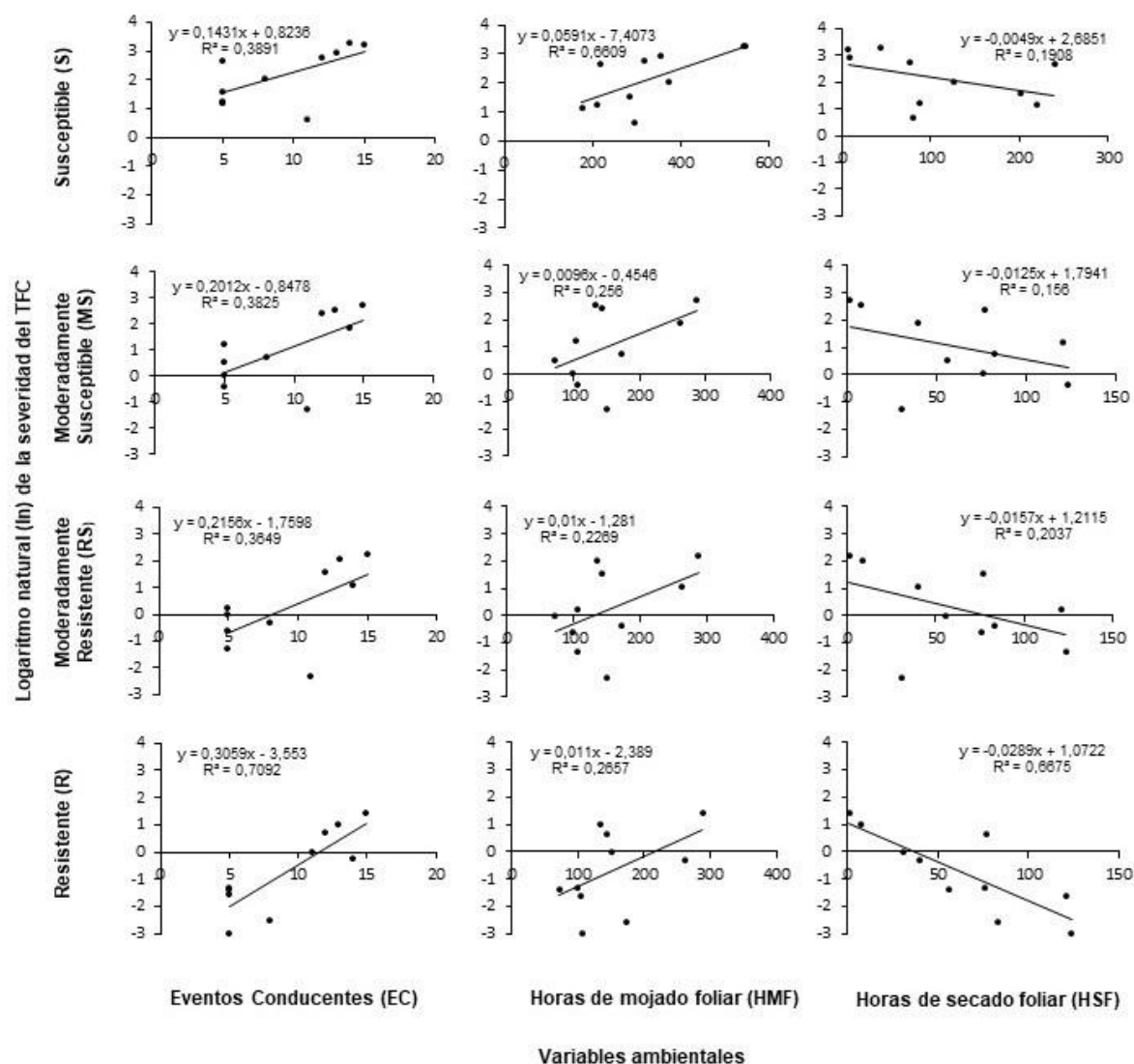


Figura 5. Relaciones entre el logaritmo natural de la severidad de tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) y las variables ambientales i) número de eventos conducentes en 20 días, ii) número de horas de mojado foliar y iii) horas de secado foliar, según el comportamiento sanitario del cultivo de maíz frente a tizón foliar común (resistente, moderadamente resistente, moderadamente susceptible, susceptible), de una selección de diez casos de cada comportamiento sanitario (genética).

A partir de las relaciones entre el ln de la severidad del TFC del maíz y las variables ambientales estudiadas, se determinó, en todos los casos, que la variable aislada que logró mayor asociación con el inicio del desarrollo de la enfermedad fue la acumulación de HMF, siendo la $T > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ la siguiente variable de mayor asociación. Los resultados de la dinámica del coeficiente de determinación registrado en un híbrido susceptible se presentan a modos de ejemplo en la **Figura 6**.

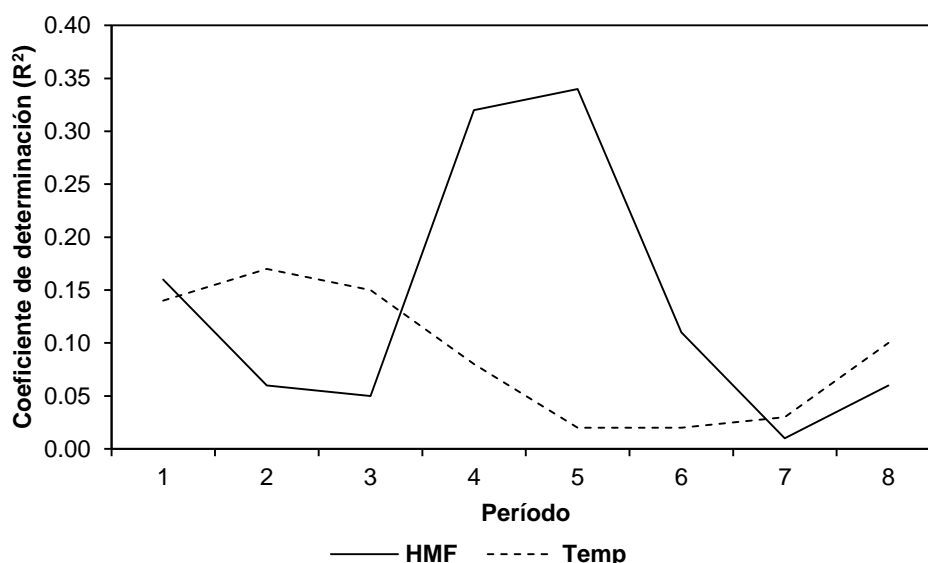


Figura 6. Dinámica del coeficiente de determinación (R^2), en ocho períodos con superposición, de variables ambientales en el desarrollo de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en un híbrido susceptible. Acumulación de días con más de ocho horas de mojado foliar (>8 HMF, HMF = HR ≥ 80 %) en línea continua y acumulación de temperaturas mayores a las 18 °C ($T > 18^\circ\text{C}$) en línea discontinua.

De todas las combinaciones de variables estudiadas, la que mejor explicó el desarrollo del TFC en las condiciones y sitios estudiados fue:

$$\text{LnSev}(\text{Genética}) = \sum \text{Ec}(20d) = \sum ((\geq 8\text{HMF})(T > 18^\circ\text{C y } < 27^\circ\text{C}))(20d)$$

Donde:

LnSev: logaritmo natural de severidad

Genética: comportamiento sanitario del híbrido al TFC

EC: número de eventos conducentes en 20 días consecutivos anteriores

HMF: número de horas de mojado foliar = HR ≥ 80 % promedio horario

T: temperaturas promedio horaria

20 d: período de 20 días consecutivos anteriores al registro de la severidad

Esto significa que para cada genética distinta o cada híbrido diferente es posible generar un modelo propio que describe la relación entre la severidad registrada y las condiciones ambientales conducentes. Los resultados obtenidos con el modelo permiten estimar para cada genética de maíz y a partir de las condiciones ambientales observadas, la severidad que desarrollará en el futuro inmediato el TFC (siguientes 20 días) (**Tablas 2 y 3**). Dos grupos de respuestas fueron identificadas, una para los materiales S y MS, y otra para los materiales R y MR (**Tablas 2, 3 y 4**).

En los materiales S y M para registrar aumentos en la severidad se necesitarían al menos siete días con eventos conducentes (EC) en los últimos 20 días evaluados, y si los registros aumentan a 12 días de EC, la severidad registrada aumentará en todos los casos, siendo mayor a medida que aumenta la susceptibilidad del híbrido. En los materiales R y MR se necesitarán también de siete días con estas condiciones para desarrollar enfermedad, pero las severidades desarrolladas serán significativamente menores, incluso cuando se aumente a 12 días de EC, las severidades presentarán un leve aumento (**Tabla 4**).

Tabla 2. Coeficientes de determinación (R^2) máximos obtenidos para cada híbrido entre las variables eventos conducentes (EC), horas de mojado foliar (HMF) y horas de secado foliar (HSF) con el logaritmo natural (ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en materiales resistentes (R) y moderadamente resistentes (MR).

Híbrido	Severidad Promedio (%)	Reacción al TFC	Casos (n°)	R ² máximo		
				EC	HMF	HSF
H12	1,0	R	13	0,56	0,90	0,36
H19	1,0	R	8	0,54	0,38	0,45
H11	2,2	MR	17	0,33	0,33	0,42
H13	2,8	MR	9	0,49	0,56	0,45
H15	3,0	MR	8	0,72	0,62	0,73
H2	4,3	MR	4	0,86	0,90	0,73
H10	4,6	MR	5	1,00	0,98	0,96
H9	5,7	MR	21	0,37	0,43	0,37
Promedio R y MR				0,61	0,64	0,56

Tabla 3. Coeficientes de determinación (R^2) máximos obtenidos para cada híbrido entre las variables eventos conducentes (EC), horas de mojado foliar (HMF) y horas de secado foliar (HSF) con el logaritmo natural (ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en materiales susceptibles (S) y moderadamente susceptibles (MS).

Híbrido	Severidad Promedio (%)	Reacción al TFC	Casos (n°)	R ² máximo		
				EC	HMF	HSF
H16	6,1	MS	8	0,78	0,69	0,78
H4	8,1	MS	21	0,43	0,59	0,37
H5	8,6	MS	13	0,74	0,65	0,74
H7	10,0	MS	10	0,70	0,66	0,24
H18	11,0	S	8	0,81	0,75	0,49
H14	17,0	S	5	0,32	0,25	0,18
H17	18,3	S	5	0,94	0,84	0,49
H8	18,6	S	7	0,83	0,44	0,74
H3	19,4	S	5	0,92	0,21	0,46
H6	20,4	S	4	0,89	0,59	0,60
H1	24,1	S	6	0,48	0,85	0,39
Promedio S y MS				0,71	0,59	0,50

Tabla 4. Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica eventos conducentes (EC) y el logaritmo natural (ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4.

Período	Tiempo días	Coeficiente de determinación (R^2) entre el ln severidad (lnSev) y eventos conducentes (EC)																		
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
1	0 a 20	0,24	0,79	0,08	0,30	0,19	0,45	0,58	0,09	0,33	0,38	0,07	0,02	0,34	0,22	0,52	0,35	0,20	0,04	0,16
2	5 a 25	0,31	0,81	0,01	0,34	0,11	0,41	0,60	0,50	0,37	0,19	0,10	0,06	0,34	0,09	0,47	0,07	0,67	0,00	0,14
3	10 a 30	0,23	0,82	0,08	0,36	0,09	0,54	0,60	0,61	0,32	0,29	0,11	0,03	0,49	0,22	0,67	0,01	0,94	0,02	0,15
4	15 a 35	0,48*	0,42	0,07	0,30	0,11	0,49	0,70	0,83	0,19	0,32	0,11	0,08	0,42	0,26	0,67	0,24	0,85	0,12	0,17
5	20 a 40	0,47	0,18	0,09	0,42	0,10	0,46	0,61	0,03	0,14	0,29	0,05	0,08	0,18	0,23	0,48	0,28	0,82	0,27	0,12
6	25 a 45	0,39	0,10	0,07	0,43	0,23	0,26	0,43	0,05	0,10	0,46	0,04	0,05	0,05	0,15	0,43	0,30	0,33	0,30	0,07
7	30 a 50	0,33	0,15	0,00	0,43	0,35	0,10	0,38	0,26	0,05	0,43	0,11	0,36	0,02	0,15	0,26	0,78	0,27	0,68	0,04
8	35 a 55	0,22	0,03	0,16	0,18	0,14	0,23	0,20	0,14	0,00	0,63	0,00	0,09	0,13	0,05	0,28	0,72	0,06	0,31	0,00
9	40 a 60	0,07	0,05	0,37	0,03	0,27	0,13	0,14	0,11	0,01	0,80	0,03	0,10	0,03	0,00	0,46	0,59	0,00	0,17	0,05
10	45 a 65	0,00	0,36	0,88	0,00	0,39	0,01	0,19	0,41	0,12	0,83	0,04	0,06	0,00	0,32	0,55	0,55	0,02	0,36	0,20
11	50 a 70	0,00	0,86	0,92	0,20	0,47	0,37	0,45	0,33	0,07	0,91	0,33	0,56	0,10	0,02	0,72	0,63	0,06	0,66	0,32
12	55 a 75	0,08	0,62	0,16	0,01	0,69	0,76	0,43	0,27	0,12	0,89	0,11	0,48	0,11	0,02	0,52	0,38	0,01	0,78	0,54
13	60 a 80	0,07	0,58	0,03	0,03	0,73	0,85	0,34	0,36	0,07	0,94	0,02	0,34	0,01	0,10	0,44	0,24	0,00	0,77	0,50
14	65 a 85	0,11	0,75	0,00	0,02	0,74	0,89	0,35	0,54	0,06	0,98	0,00	0,27	0,14	0,12	0,46	0,33	0,00	0,81	0,45
15	70 a 90	0,05	0,83	0,18	0,00	0,74	0,51	0,35	0,40	0,10	1,00	0,00	0,15	0,13	0,19	0,36	0,22	0,06	0,71	0,37

*En negrita se destaca la mayor relación obtenida

Tabla 5. Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica horas de mojado foliar (HMF) y el logaritmo natural (ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4.

Período	Tiempo días	Coeficiente de determinación (R^2) entre el ln severidad (lnSev) y horas de mojado foliar (HMF)																		
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
1	0 a 20	0,47	0,36	0,15	0,42	0,13	0,22	0,45	0,10	0,37	0,03	0,07	0,06	0,16	0,03	0,24	0,09	0,07	0,00	0,05
2	5 a 25	0,45	0,18	0,01	0,47	0,04	0,15	0,42	0,02	0,43	0,04	0,10	0,24	0,21	0,04	0,26	0,00	0,62	0,01	0,02
3	10 a 30	0,56	0,31	0,14	0,47	0,06	0,21	0,54	0,32	0,36	0,00	0,11	0,18	0,27	0,19	0,37	0,02	0,78	0,01	0,02
4	15 a 35	0,85	0,30	0,21	0,51	0,07	0,26	0,66	0,01	0,29	0,00	0,11	0,25	0,33	0,25	0,42	0,35	0,84	0,10	0,03
5	20 a 40	0,68	0,16	0,15	0,59	0,06	0,22	0,46	0,00	0,25	0,01	0,05	0,16	0,23	0,21	0,31	0,30	0,42	0,16	0,00
6	25 a 45	0,48	0,17	0,14	0,54	0,08	0,29	0,28	0,06	0,20	0,10	0,04	0,10	0,13	0,14	0,25	0,30	0,05	0,20	0,01
7	30 a 50	0,24	0,09	0,01	0,47	0,05	0,08	0,11	0,17	0,11	0,27	0,11	0,24	0,05	0,12	0,13	0,60	0,00	0,56	0,00
8	35 a 55	0,11	0,24	0,04	0,33	0,15	0,16	0,13	0,19	0,01	0,47	0,00	0,36	0,01	0,03	0,22	0,69	0,18	0,40	0,02
9	40 a 60	0,10	0,51	0,12	0,18	0,34	0,09	0,14	0,31	0,01	0,73	0,03	0,48	0,00	0,06	0,45	0,60	0,60	0,55	0,32
10	45 a 65	0,03	0,77	0,19	0,12	0,31	0,09	0,11	0,25	0,09	0,85	0,04	0,21	0,06	0,23	0,62	0,42	0,31	0,25	0,38
11	50 a 70	0,00	0,90	0,15	0,05	0,49	0,28	0,17	0,20	0,06	0,97	0,33	0,38	0,08	0,14	0,38	0,37	0,03	0,33	0,34
12	55 a 75	0,00	0,89	0,04	0,13	0,54	0,59	0,29	0,14	0,01	0,96	0,11	0,67	0,56	0,01	0,39	0,58	0,02	0,32	0,32
13	60 a 80	0,01	0,53	0,21	0,06	0,57	0,46	0,21	0,30	0,04	0,96	0,02	0,77	0,06	0,00	0,37	0,58	0,16	0,69	0,29
14	65 a 85	0,00	0,42	0,01	0,11	0,55	0,53	0,18	0,44	0,01	0,98	0,00	0,76	0,01	0,08	0,36	0,57	0,07	0,75	0,24
15	70 a 90	0,11	0,51	0,02	0,18	0,65	0,24	0,20	0,38	0,00	0,93	0,00	0,90	0,01	0,03	0,17	0,67	0,04	0,57	0,10

*En negrita se destaca la mayor relación obtenida

Tabla 6. Coeficientes de determinación (R^2) para cada híbrido entre la variable meteorológica horas de secado foliar (HSF) y el logaritmo natural (ln) de la severidad (Sev) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), dividido por período de tiempos estudiados antes del estado fenológico R4.

Período	Tiempo días	Coeficiente de determinación (R^2) entre el ln severidad (lnSev) y horas de secado foliar (HSF)																		
		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
1	0 a 20	0,15	0,60	0,10	0,13	0,00	0,24	0,09	0,16	0,34	0,63	0,17	0,02	0,35	0,01	0,15	0,01	0,09	0,03	0,04
2	5 a 25	0,15	0,60	0,10	0,13	0,00	0,24	0,09	0,16	0,34	0,63	0,17	0,02	0,35	0,01	0,15	0,01	0,09	0,03	0,04
3	10 a 30	0,29	0,24	0,04	0,19	0,03	0,20	0,13	0,39	0,37	0,70	0,21	0,05	0,45	0,03	0,10	0,00	0,31	0,00	0,08
4	15 a 35	0,29	0,24	0,04	0,19	0,03	0,20	0,13	0,39	0,37	0,70	0,21	0,05	0,45	0,03	0,10	0,00	0,31	0,00	0,08
5	20 a 40	0,39	0,02	0,02	0,26	0,04	0,20	0,16	0,74	0,33	0,69	0,24	0,09	0,28	0,18	0,36	0,07	0,49	0,13	0,01
6	25 a 45	0,39	0,02	0,02	0,26	0,04	0,20	0,16	0,74	0,33	0,69	0,24	0,09	0,28	0,18	0,36	0,07	0,49	0,13	0,01
7	30 a 50	0,21	0,05	0,00	0,37	0,03	0,20	0,14	0,36	0,30	0,85	0,24	0,28	0,22	0,08	0,08	0,49	0,03	0,49	0,00
8	35 a 55	0,21	0,05	0,00	0,37	0,03	0,20	0,14	0,36	0,30	0,85	0,24	0,28	0,22	0,08	0,08	0,49	0,03	0,49	0,00
9	40 a 60	0,14	0,38	0,17	0,17	0,14	0,60	0,15	0,54	0,00	0,92	0,42	0,24	0,14	0,00	0,72	0,71	0,01	0,25	0,18
10	45 a 65	0,02	0,40	0,25	0,09	0,17	0,59	0,07	0,52	0,01	0,94	0,19	0,16	0,15	0,00	0,66	0,45	0,00	0,08	0,45
11	50 a 70	0,05	0,73	0,03	0,04	0,35	0,49	0,24	0,56	0,05	0,95	0,17	0,11	0,01	0,00	0,73	0,63	0,05	0,20	0,37
12	55 a 75	0,13	0,46	0,46	0,01	0,38	0,46	0,20	0,43	0,06	0,96	0,07	0,00	0,01	0,04	0,71	0,78	0,36	0,19	0,34
13	60 a 80	0,13	0,23	0,02	0,00	0,51	0,46	0,13	0,03	0,05	0,96	0,08	0,01	0,00	0,04	0,70	0,17	0,23	0,25	0,33
14	65 a 85	0,07	0,32	0,01	0,02	0,65	0,42	0,14	0,21	0,03	0,96	0,09	0,30	0,01	0,04	0,62	0,31	0,16	0,30	0,28
15	70 a 90	0,08	0,29	0,35	0,03	0,74	0,37	0,13	0,15	0,03	0,96	0,11	0,36	0,00	0,04	0,46	0,14	0,16	0,20	0,31

*En negrita se destaca la mayor relación obtenida

Tabla 7. Desarrollo de severidades (%) de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), diferenciados por su reacción frente a la enfermedad, cuando alcanzaron 7 y 12 días con eventos conducentes (EC), y su diferencia.

Reacción	Casos (n°)	Severidad del TFC (%)		
		7 EC	12 EC	Diferencia
R	8	1,1	1,7	0,6
R	9	3,2	4,0	0,8
Promedio R		2,2	2,9	0,7
MR	14	3,8	4,1	0,3
MR	8	4,2	4,2	0,0
MR	9	3,6	7,6	4,0
MR	4	7,8	13,9	6,1
Promedio MR		4,9	7,5	2,6
MS	9	5,5	6,9	1,4
MS	4	5,8	5,8	0,0
MS	10	7,1	8,7	1,6
MS	12	13,8	19,2	5,4
MS	21	7,0	11,9	4,9
MS	21	12,2	21,7	9,5
Promedio MS		8,6	12,4	3,8
S	8	13,6	14,8	1,2
S	4	14,7	23,0	8,3
S	5	18,0	18,0	0,0
S	9	18,0	27,8	9,8
S	5	18,6	21,0	2,4
S	5	19,4	19,4	0,0
S	6	35,7	44,5	8,8
Promedio S		19,7	24,1	4,4

Cuando se agruparon los híbridos según su reacción al TFC, se observó un amplio rango de relación (entre $R^2 = 0,30$ y $0,75$) para los distintos perfiles. Se destacó que estas relaciones fueron más importantes cuando se tomó cada híbrido en particular (entre $R^2 = 0,40$ y $0,85$). En híbridos susceptibles ($n = 42$) se registraron relaciones de alta correlación y en híbridos resistentes ($n = 17$) se detectaron, pero en menor magnitud. A modo de ejemplo se presentan dos híbridos de cada uno de estos comportamientos sanitarios en la **Figura 7**.

La búsqueda de un estimador que sea lo suficientemente específico y sensible, permitió hallar que los EC al combinar las variables, permitió determinar una buena relación entre la especificidad del indicador y su sensibilidad. Siendo la especificidad, la capacidad de minimizar la cantidad de falsos negativos, y la sensibilidad, maximizar la cantidad de positivos.

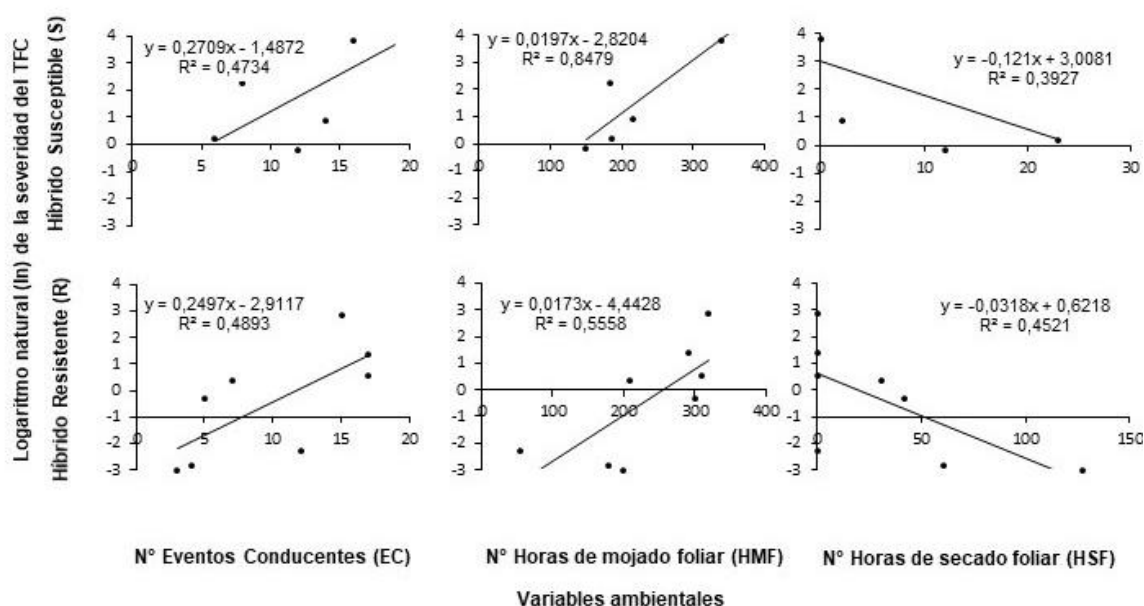


Figura 7. Relaciones entre el logaritmo natural (ln) de la severidad de tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) y las variables ambientales i) número de eventos conducentes, ii) número de horas de mojado foliar y iii) horas de secado foliar, diferenciadas por la reacción i) híbrido resistente y ii) híbrido susceptible.

3.3 Desarrollo de software

El sistema de aviso, según el modelo desarrollado, se acciona dependiendo de la sumatoria de días con EC positivos dentro del período de 20 últimos días registrados. Cada día es indicado por un casillero que va cambiando de color, como un formato de semáforo, De esta manera se verá si la condición del día para el lote seleccionado es verde (sin riesgo), amarillo (si cumple sólo una variable del EC: T o HMF) o rojo (si se cumplen ambas variables). El casillero final, correspondiente al total de los últimos 20 días, se visualiza blanco si no hay riesgo, y rojo si su acumularon más de siete días con EC. Cuando se entra en fase roja, el encargado de ese lote/campo, recibirá un correo electrónico o un mensaje a su celular, con la alerta. De esta manera, el personal a cargo deberá revisar y confirmar a nivel de campo si hay desarrollo del TFC. El software tiene incorporado el mismo sistema de modelado y alerta para otras enfermedades del cultivo de maíz como roya común (*Puccinia sorghi*), roya polisora (*Puccinia polysora*), cercosporiosis (*Cercospora zeae-maydis*) que se desarrollan en el centro norte de Córdoba, las mismas están en etapa de validación (**Figura 8**).

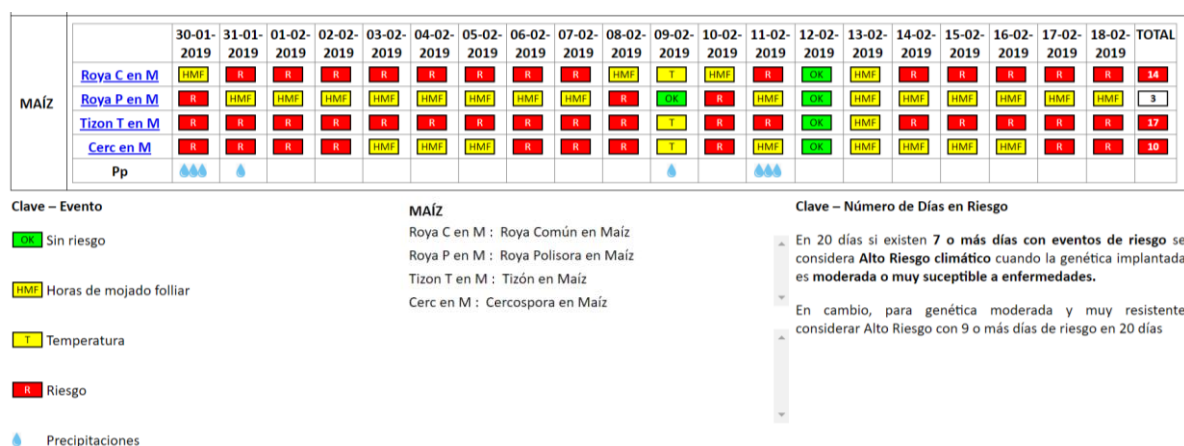


Figura 8. Visualización de resultados del software desarrollado para el seguimiento y alerta de desarrollo del tizón común foliar del maíz (*Exserohilum turcicum*) y otras enfermedades foliares del cultivo.

4. DISCUSIÓN

El clima juega un papel vital en el desarrollo de enfermedades de las plantas, afectando tanto a los procesos de dispersión como de infección. La gravedad de una enfermedad fluctúa anualmente dependiendo de los cambios registrados en el clima de una temporada. Los fitopatólogos tratan de determinar qué combinación de condiciones ambientales afecta a patógenos específicos para entender el riesgo de enfermedad para los agricultores y poder aconsejarles sobre las precauciones apropiadas que deben tomarse para controlar las enfermedades. Esto puede implicar el momento óptimo de la aplicación de fungicidas o la manipulación del cultivo para evitar o reducir el riesgo de enfermedad (Hardwick, 2002). Los hallazgos obtenidos en este trabajo sugieren que la metodología propuesta de seguimiento intensivo de variables ambientales es adecuada para detectar aquellos momentos claves para realizar el monitoreo a campo del TFC, siendo esta observación la práctica que permite verificar la presencia de enfermedad a través de las lesiones generadas en los tejidos vegetales.

Las epidemias del TFC pueden ocurrir si hay inóculo en la región, condiciones ambientales conducentes y susceptibilidad en los materiales sembrados (Ramathani *et al.*, 2011). La determinación e importancia de las variables ambientales seleccionadas en este trabajo para estudiar el desarrollo de la epidemia de TFC fue similar a lo hallado por Molitor *et al.* (2016) quienes, presentan este mismo patrón en el patosistema vid (*Vitis vinífera*) -

Botrytis spp., donde la acumulación de horas de mojado foliar en primera instancia es la variable más importante a registrar y luego el rango de temperaturas. Estos resultados también son coincidentes con los registrados por Levy & Cohen (1983) quienes afirman que la duración del período de mojado foliar es el factor ambiental más importante para la infección y la esporulación del TFC. Las condiciones ambientales más comunes de encontrar en la literatura que explican el desarrollo de TFC son principalmente períodos prolongados de mojado foliar diario (> 10 h) y temperaturas moderadas de 17 - 28 °C (Pelmus *et al.*, 1986; Sharma & Mishra, 1988; Khatri, 1993; Munkvold & White, 2016) parámetros similares a los hallados en este trabajo. En el cultivo de sorgo, Kiran *et al.* (2020) determinaron que la humedad relativa durante la mañana (entre 80 y 88 %) y a la tarde (entre 90 y 95 %), así como los días con lluvias influyen significativamente en el desarrollo de *E. turcicum* en este cultivo, siendo que la temperatura no registro correlación con el avance de la enfermedad. Nwanosike *et al.*, (2015), en Tanzania, informaron que la gravedad del TFC en maíz se correlacionó significativamente de manera positiva con la humedad relativa, mientras que se observó una correlación negativa con la temperatura mínima.

El modelado es una herramienta útil para el productor, ya que le indica con una antelación suficiente cuándo una enfermedad podría o no superar un determinado umbral de daño económico (Cambpell & Madden, 1990). Según Bombelli *et al.* (2012), los modelos predictivos deben basarse en los factores de riesgo que predispongan a los cultivos a epidemias de enfermedades. Estos modelos consideran los factores propios del ambiente, propios del material genético de la especie hospedante (grado de susceptibilidad) y propios del patógeno y, a la vez, se pueda incorporan información de prácticas productivas como: rotación de cultivos, prácticas de la labranza, fechas de siembra y grado de susceptibilidad de cultivares. La puesta en práctica del modelo propuesto consiste en analizar al mismo tiempo todas las dimensiones posibles del sistema epidémico de una enfermedad, es decir, contemplar tanto el ambiente (ej. condiciones ambientales conducentes), como al hospedante (ej. perfil sanitario del híbrido) y al patógeno (ej. lesiones foliares observadas). Este modelo de predicción en formato de semáforo pretende ser una herramienta que optimice el momento o “timing” del monitoreo a campo, ayudando a que se detecten los daños del TFC en forma temprana. Este hecho, es el que brinda las bases para la obtención de mayores respuestas en el caso de la necesidad de una intervención química (aplicación de fungicida), lo que significa contribuir a una mayor eficiencia de los fungicidas, así como menores costos en la producción de maíz, y, en definitiva, una mayor sustentabilidad del sistema, de las empresas y del ambiente.

Con el esquema de modelado propuesto para cada híbrido en particular derivado del modelo general, se procura generar una herramienta de manejo integrado de enfermedades que ayude en la toma de decisiones; por consiguiente, el objetivo es prevenir el desarrollo

excesivo de una enfermedad. La predicción del avance de la enfermedad días o semanas antes de que ocurra un aumento en la severidad, permite a los agricultores poder responder en tiempo y forma, es decir de manera eficiente, ajustando las estrategias en el manejo de cultivos (Maloy, 1993). El objetivo es que cada modelo de cada híbrido sea dinámico, es decir que se puedan incorporar nuevos casos y a medida que éstos se suman, se actualicen automáticamente los resultados del modelo de cada híbrido, en cada una de las diferentes localidades o sitios estudiados.

Coakley (1988) estableció que se necesitan entre 8 y 12 años de observaciones de enfermedad para identificar con certeza los factores ambientales asociados a su desarrollo y en este trabajo se utilizaron observaciones de 10 campañas agrícolas.

Según Costa *et al.* (2002) las características indispensables para que un modelo de prevención sea aceptado son las siguientes: confiabilidad, simplicidad, utilidad, disponibilidad, detectar el “timing” o momento óptimo de la aplicación de fungicidas y tener un costo accesible, correspondiente a una fracción del beneficio potencial proveniente de su uso. Con el sistema de semáforo generado se agregó valor a los productores y técnicos, ya que se ayuda en forma cierta al determinar el momento oportuno de recorrer los lotes. El monitoreo continuo de las variables ambientales puede complementar el monitoreo a campo, el cual es relativamente escaso en maíz, si se compara con el monitoreo del cultivo de soja. Según De Wolf & Isard (2007), los avances en tecnologías de la información y comunicación están haciendo posible el monitoreo de las variables en tiempo real, proporcionando al usuario información sobre el estado de los cultivos y las enfermedades dentro de los distintos establecimientos agropecuarios. La fortaleza de este tipo de modelos, a escala regional (campo o lote), radica en la representación en tiempo real tanto de las variaciones biológicas como ambientales, las cuales son la base para la generación de recomendaciones referidas al manejo integrado de la enfermedad.

Teniendo en cuenta los requerimientos explícitos de un modelo predictivo, los mismos fueron cumplimentados, ya que actuar oportunamente sobre el patógeno reduce la población, limitando el inóculo presente en el lote. Estos factores, además, contribuyen en forma indirecta a la durabilidad y estabilidad de la resistencia genética presente en los híbridos comerciales.

Frente a la demanda actual de una agricultura más racional y menos agresiva con el ambiente, existe una tendencia a aumentar la importancia de sistemas que orienten a los agricultores al reconocimiento de las enfermedades importantes y a su monitoreo sistemático (Barreto *et al.*, 2004).

Se diseñó la estructura de un modelo que actúa como base para un sistema de soporte en la toma de decisiones para optimizar el manejo del TFC, la enfermedad fúngica de mayor impacto económico en la región centro norte de Córdoba, especialmente en el maíz tardío. Adoptando una metodología de modelado, análisis y validación que contempla el manejo de

gran cantidad de datos que integran diferentes variables ambientales registrando datos cada 20 minutos, en los diferentes sitios (latitud y longitud) de cada caso evaluado, que luego son procesados en tiempo real generando distintos indicadores para cada enfermedad en formato de semáforo, de fácil interpretación para productores y asesores. Estos avances son posibles con la existencia de equipos multidisciplinarios que generan herramientas al servicio de los productores, empresas de biotecnología y técnicos, combinando e integrando los conocimientos generados en sanidad de cultivos con el modelado y la programación.

5. CONCLUSIONES

Las relaciones funcionales entre la severidad de la enfermedad y la duración de horas de mojado foliar, horas de secado foliar, temperaturas y eventos conducentes, permiten predecir los daños que puede ocasionar el TFC en una amplia región del centro norte de Córdoba y emitir una alerta.

Esta sería hasta el presente, el primer modelo de enfermedades obtenida con datos meteorológicos intensivos de paso horario.

El modelo y software diseñados son herramientas promisorias para detectar los momentos claves en la toma de decisiones, lo que posibilita realizar un monitoreo del cultivo de maíz más eficiente, siendo éste parte fundamental de cualquier estrategia de manejo integrado.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Alejandro Palazzolo y al Lic. Gustavo Luppi, especialistas de la empresa Intruder Agro, por su colaboración en manejo de información ambiental, modelado y programación.

6. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo III

- Barreto, M.; Vale, R.F.X.; Paul, P.A.; Scaloppi, E.A.G. & Andrade. 2004. Sistemas de previsao e estacoes de aviso. En: Vale, R. F. X.; Cintra de Jesus, W & Zambolin, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte. Editora Perfil, pp. 243-270. ISBN: 85-89800-02-4.
- Bergamin Filho, A. & Amorin, L. 1996. Doencas de plantas tropicais: Epidemiologia e controle económico. Sao Paulo: Ceres, pp. 289.

- Bergamin Filho, A. 1995. Curvas de progreso da doença. En: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; et al. Manual de Fitopatologia: Principios e conceitos. Sao Paulo: Ceres. v.1.
- Bombelli, E.C.; Wright, E.R.; Moschini, R.C.; López M.V.; Fabrizio, M.C.; Barberis, J.G. & Rivera M.C. 2012. Modelado computacional de datos epidemiológicos para predecir enfermedades de cultivos con base meteorológica. 41JAIO - SSI 2012 – pp. 322-337. ISSN: 1850-2830.
- Campbell, C. L. & Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York. John Wiley, pp. 532.
- Coakley, S.M. 1988. Variation in Climate and Prediction of Disease in Plants. Annual Review of Phytopathology 26: 163-181. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.001115>
- Costa, L.C.; Cintra, W.J.J. & Ribeiro do Vale, F.X. 2002. Modelos aplicados en fitopatología. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo. Tomo XXXIV. N°1.
- De Rossi R.L. & Couretot, L. 2013. Resumen del Iº Taller de Sanidad en Maíz. Universidad Católica de Córdoba. Córdoba, 26 de abril de 2013.
- De Rossi, R. L.; Guerra, G. D.; Plazas, M. C.; Brücher, E. & Gregoret, M.C. 2011. Tizón del maíz (*Exserohilum turcicum*). Comportamiento sanitario de diferentes híbridos de maíz en la región centro norte de la provincia de Córdoba en la campaña 2009/10. Revista CREA: AACREA, pp. 70-73. ISSN 0325-9846.
- De Rossi, R.L. 2012. *Exserohilum turcicum*: ocorrencia, infeccao, transmissao e controle quimico en semente de milho. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Brasil, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Fitopatologia.
- De Rossi, R.L.; Guerra, F.A.; Vuletic, E.; Plazas, M.C.; Brücher, E. & Guerra, G.D. Informes fitosanitarios región centro norte de Córdoba. 2013, 2014, 2015, 2016, 2017. ISSN: 2451-5949.
- De Wolf, E.D. & Isard, S.A. 2007. Disease cycle approach to plant disease prediction. Annual Review of Phytopathology 45(9): 1-18.
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2010. InfoStat, software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Fancelli, A.L. 1988. Influencia do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). Tese de Doutorado. Piracicaba. ESALQ/USP, pp. 172.
- Fisher, K.S. & Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. In: Goldsworthy, P.R. & Fisher, N.M. (Ed). The Physiology of Tropical Field Crops. Wiley, pp. 231-248.
- Fry, W. E. 1982. Principles of Plant Disease Management. N. Y. Academic Press, pp. 376.
- Gilligan, C.A. 1990. Comparisson of diseases progress curves. New Phytologist 115.
- Hardwick, N.V. 2002. Weather and plant diseases. Weather, vol. 57.
- Jeger, M.J. & Tamsett, J. 1983. The status of models in crop protection: an analysis using data base systems. W.P.R.S. Bulletin VI-2, 57-76.
- Kiran, B.M.; Patil, P.V. & Sindhu, M.M. 2015. Epidemiological Studies on Leaf Blight of Sweet Sorghum caused by *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard and Suggs. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci: 9(4): 321-327.
- Khatri, N.K. 1993. Influence of temperature and relative humidity on the development of *Helminthosporium turcicum* on maize in western Georgia. Indian Journal of Mycology
- Kranz, J. & Royle, D.J. 1978. Perspectives in mathematical modelling of plant disease epidemics. In: Scort PR and Bainbridge A (eds). Plant Disease Epidemiology, pp. 111-129. Blackwell Scientific Publications. Oxford, Londonand Plant Pathology 23: 35-37.
- Krige, D.G. 1951. A statistical approaches to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 52: 119-139.
- Levy, Y. & Cohen, Y. 1983. Biotic and environmental factors affecting infection of sweet corn with *Exserohilum turcicum*. Phytopathology 73: 722-725.
- Li, J. & Heap, A.D. 2011. A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecological informatics 6: 228-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>
- LLorente, E.M. & Montesinos, I.L. 2004. Los modelos de predicción epidemiológica como herramienta en el control integrado de enfermedades. Phytoma, ISSN 1131-8988, Nº 164, pp. 97-100

- Maloy, O.C. 1993. Plant Disease Control. New York: Wiley.
- Mandelbrot, B. 1997. La geometría fractal de la naturaleza. Tusquets Editores, Colección Metatemas 49. Traducción: Josep Llosa, pp. 662. ISBN 848310-549-7.
- March, G.J.; Oddino, C.M.; García, J.; Marinelli, A.D. & Rago, A.M. 2011. Umbral de daño económico de la viruela del maní según eficiencia fungicida y potencial de rendimiento. 26º Jornada Nacional de Maní. 15 de septiembre de 2011. General Cabrera, Córdoba (AR): CIA - INTA. p. 48-49
- Meredith, D.S. 1966. Airborne conidia of *Helminthosporium turcicum* in Nebraska. Phytopathology 56: 949-952.
- Molitor, D., Baus, O., Hoffmann, L. & Beyer, M. 2016. Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual *Botrytis* bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. OENO One 50(4): 231-244. doi: 10.20870/oenone.2016.50.4.36
- Munkvold, G.P. & White, D.G. 2016. Compendium of Corn Diseases (4th ed.), APS Press, St. Paul, MN.
- Nwanosike, M. R.; Mabagala, R.B. & Kusolwa, P.M. 2015. Disease intensity and distribution of *Exserohilum turcicum* incitant of northern leaf blight of maize in Tanzania. International Journal of Pure and Applied Bioscience 3(5): 1-13.
- Parisi, L.; Couretot, L., Magnone, G.; Beribe, M. J. & Gatti, N. 2015. Control de enfermedades foliares en maíz tardío con una mezcla de triazol + estrobilurina sobre cinco híbridos comerciales de diferente perfil sanitario. Campaña 2013/14. En: Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Maíz SD. Agosto 2015.
- Parisi, L.; Couretot, L.; Sillon, M.; Magliano, F. & Villar, J. 2014. Panorama sanitario del cultivo de maíz en norte de Buenos Aires y centro de Santa Fe, ciclo de cultivo 2012/2013. Libro de Resúmenes del 3º Congreso Argentino de Fitopatología, Tucumán, Argentina. pp.403.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. Phytopathology 82: 370-375.
- Paul, P. A. & Munkvold, G. P. 2004. A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. Phytopathology 94: 1350-1357.

- Pelmus, V.; Crain, D. & Craciud. 1986. Effect of some ecological factors on *Helminthosporium turcicum* on successive maize crop problem. *Protectia-Pkntelor*, 14: 119-132.
- Ramathani, I.; Biruma, M.; Martin, T.; Dixelius, C. & Okori, P. 2011. Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. *Eur. J. Plant Pathol.* DOI: 10.1007/s10658-011-9815-1.
- Ritchie, S. W., Hanway, J.J. & Benson, G.O. 1992. How a corn plant develops? Iowa State. Univ. Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. N° 48.
- Rowlandson, T.; Gleason, M.; Sentelhas, P.; Gillespie, T.; Thomas, C. & Hornbuckle, B. 2015. Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant Disease* 99(3). Doi: 10.1094/PDIS-05-14-0529-FE.
- Sharma, J.P. & Mishra, B. 1988. Effect of spray schedule of mancozeb on turcicum leaf blight and impact on grain yield in maize. *Indian Journal of Plant Protection* 16: 189-193.
- Teyssandier, E. 2005. Como predecir y controlar la ocurrencia de enfermedades limitantes de la producción de maíz. Conferencias. VIII Congreso Nacional de Maíz, pp. 448-450, 16-18 de noviembre, Rosario-Santa Fe.
- Van Maanne, A. & XU, X. M. 2003. Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109:669-682.

CAPITULO IV

**ANÁLISIS TEMPORAL DE EPIDEMIAS DEL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL MAÍZ
CAUSADO POR *Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS**

**TEMPORAL ANALYSIS OF THE NORTHERN CORN LEAF BLIGHT EPIDEMICS
CAUSED BY *Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS**

RESUMEN

La mayoría de las estrategias de manejo de enfermedades de cultivos más eficientes, son diseñadas a partir de los conocimientos generados en estudios epidemiológicos, debido a que éstos proporcionan información que permite comprender el desarrollo de epidemias. Por ello, el objetivo de este trabajo fue realizar análisis temporales de epidemias del tizón foliar común del maíz (TFC), causado por *E. turcicum*, comparando híbridos de diferente reacción al patógeno en distintas localidades. Así, durante la campaña agrícola 2015-16, se condujeron ensayos en microparcels de cuatro híbridos con diferente reacción frente al TFC, siendo resistente (R), moderadamente resistente (MR), susceptible (S) y moderadamente susceptible (MS). Los mismos se sembraron en seis diferentes localidades de la región centro norte de Córdoba, donde se evaluaron epidemias generadas naturalmente por la presencia de inóculo de TFC existente en la región. Las variables epidemiológicas estudiadas fueron: i) severidad (S%), ii) curva de progreso de enfermedad (CPE), iii) área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), iv) severidad final (SF%) y v) tasa progreso de la enfermedad (r). Al mismo tiempo, las curvas de progreso de severidad se estudiaron según el ajuste a los modelos epidemiológicos no lineales Logístico y de Gompertz. Los resultados mostraron que las localidades de Ballesteros y Villa María fueron donde se registraron los mayores porcentajes de SF en materiales S, siendo de 45 % y 37,5 % respectivamente. En Jesús María, Río Segundo y Freyre los niveles de SF registrados fueron <5 %, y en la localidad de El Tío fueron <1%. Así mismo, en las localidades de Ballesteros y Villa María, se registraron las mayores ABCPE, siendo de 2150,1 y de 1335,7 respectivamente. En las demás localidades los valores de ABCPE fueron menores a 320, presentando en todos los casos diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). El progreso de las epidemias determinó, en mayor o menor magnitud, curvas de formato sigmoidal, típicas de enfermedades policíclicas. El modelo de Gompertz fue el que presentó mejor ajuste en promedio general, a los datos de los cuatro grupos de genotipos estudiados, con una tasa de determinación (R^2) de 0,909 y con tasa de determinación ajustada (R^{2*}) de 0,849. El análisis temporal de las epidemias permitió obtener información útil para la implementación de estrategias efectivas para el manejo y control de la enfermedad, aportando información de epidemiología básica para el patosistema maíz - tizón foliar común.

Palabras clave: *Zea mays*, helmintosporiosis, epidemiología, ABCPE, análisis temporal

ABSTRACT

Most of the most efficient crop disease management strategies are designed on the basis of knowledge generated from epidemiological studies, since they provide quantitative information that helps to understand the development of epidemics. The aim of this work was to study the temporal epidemiological variables of northern corn leaf blight (NCLB), caused by *E. turcicum*, by comparing hybrids showing different response to the pathogen in different localities. During the 2015-16 crop season, trials involving four hybrids showing different response to NCLB, i.e., resistant (R), moderately resistant (MR), susceptible (S), and moderately susceptible (MS), were conducted in microplots. They were sown in six different localities of the central-northern region of Córdoba, where epidemics naturally generated by the presence of the NCLB inoculum were evaluated. The following epidemiological variables were studied: i) severity (S%), ii) disease progress curve (DPC), iii) area under the disease progress curve (AUDPC), iv) final severity (FS%) and v) apparent infection rate (r). At the same time, the severity progress curves were studied according to the fit of the nonlinear and Gompertz epidemiological models. The results showed that Ballesteros and Villa María were the localities with highest FS in S hybrids (45 % and 37.5 %, respectively). In Jesús María, Río Segundo and Freyre, FS levels were <5 %, and in the locality of El Tío, they were <1%. Moreover, the highest AUDPC values were recorded in Ballesteros and Villa María (2150.1 and 1335.7, respectively). In the remaining localities, AUDPC values were below 320, with statistically significant differences in all cases ($p < 0.05$). Progress of the epidemics showed, to a greater or lesser extent, sigmoid curves typical of a polycyclic disease. The Gompertz model exhibited, on average, the best fit to the data of the four studied genotypes, with a determination rate (R^2) of 0.909 and an adjusted determination rate (R^{2*}) of 0.849. The temporal analysis of the epidemics provided useful information for the implementation of effective disease management and control strategies, contributing with basic epidemiological data for the maize-NCLB pathosystem

Keywords: Northern corn leaf blight, *Zea mays*, helminthosporium, epidemiology, AUDPC, temporal assessment

1. INTRODUCCIÓN

El tizón foliar común (TFC) del maíz, causado por el hongo *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, se considera una enfermedad altamente destructiva cuando se combina un hospedante susceptible, una raza virulenta del patógeno y condiciones ambientales adecuadas para su desarrollo (Ramathani *et al.*, 2011). El método más económico y seguro para el manejo de las enfermedades de los cultivos, es el uso de cultivares resistentes. Sin embargo, no siempre hay factores de resistencia en el germoplasma disponible o, si lo hubiera, puede no tener, que es lo más común, resistencia múltiple a las principales enfermedades que ocurren en una región determinada. Por ello, el manejo de enfermedades implica el uso del conocimiento existente sobre el medio ambiente, el hospedante (grado de resistencia), los daños de las enfermedades más frecuentes que ocurren en la región y de las técnicas alternativas para el manejo (Cia & Fuzatto, 1999).

La mayoría de las estrategias de manejo más eficientes son diseñadas a partir de los conocimientos generados en estudios epidemiológicos; siendo el estudio del progreso de la enfermedad en el tiempo (análisis temporal), uno de los aspectos más importantes, y tal vez, la génesis de los restantes estudios epidemiológicos (March *et al.*, 2014). En el estudio de una epidemia y su patosistema, se utilizan en gran medida observaciones, mediciones, fórmulas matemáticas y estadísticas, y la computación, que permiten representar la compleja dinámica de una epidemia, en términos de ecuaciones y de modelos matemáticos. La descripción cuantitativa de las epidemias de plantas, proporciona abundante y valiosa información relacionada con la cantidad y eficiencia del inóculo inicial, los efectos del ambiente, la resistencia del hospedante, el tiempo de interacción entre el hospedante y el patógeno, los sistemas de predicción y la efectividad de las estrategias de manejo de la enfermedad (Achicanoy López, 2000).

El análisis temporal de las enfermedades proporciona información cuantitativa que permite comprender el porqué de las epidemias, compararlas en distintos patosistemas, desarrollar sistemas de pronóstico, elaborar mapas de riesgo y generar estrategias para su manejo (March *et al.*, 2014). La curva de progreso de enfermedad (CPE), también denominada como gráfico de una epidemia (Kranz, 1974), representa todas las interacciones que ocurren entre el patógeno y el hospedantes bajo la influencia del ambiente (Teng & Zadoks, 1980). Siendo la misma considerada como la mejor herramienta para representar una epidemia, dado que muestra la evolución de una enfermedad con respecto al tiempo y permiten caracterizar las interacciones entre el patógeno, el huésped y el ambiente para un detallado análisis de las estrategias de control y de previsión de futuros niveles de enfermedad. La tasa de progreso de la enfermedad o tasa aparente de infección (r), la forma de la CPE, el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), la cantidad máxima (x_{max}) y final (x_f) de enfermedad, así como su duración, son parámetros de la CPE que pueden

ser determinados y brindan una valiosa información para la caracterización de una epidemia (Bergamin Filho & Amorim, 1996).

La comparación de epidemias a través de las CPE, permite interpretar resultados experimentales o de campo, y consecuentemente generar información para desarrollar estrategias de manejo. Las CPE pueden ser descritas por modelos matemáticos que permiten caracterizar numéricamente el fenómeno biológico que significa una epidemia en un cultivo, y a partir de los parámetros estimados por el modelo analizar y comparar epidemias (March *et al.*, 2014). Los modelos matemáticos son capaces de resumir, en forma de expresiones matemáticas relativamente simples, la relación existente entre enfermedad y tiempo. Estas expresiones facilitan el análisis de los datos de progreso de enfermedad, datos obtenidos, por ejemplo, en experimentos donde los niveles de resistencias son probados (Bergamin Filho & Amorim, 1996). Si bien son una simplificación de la realidad, los modelos pueden revelar información que es muy difícil o imposible de obtener experimentalmente.

El análisis matemático de las epidemias utilizando modelos, fue introducido por Vanderplank en 1963, y se basó en la analogía entre el incremento de la enfermedad y el interés compuesto, resultando así, el modelo logístico. Se ha demostrado que otras transformaciones o modelos pueden ser más apropiados para estimar los parámetros epidémicos, debido a que no todas las curvas de progreso de la enfermedad se ajustan al modelo logístico de Vanderplank. En consecuencia, se han utilizado otros modelos de crecimiento como el de Gompertz y el monomolecular; además, se conocen otros modelos generalizados de crecimiento como el modelo exponencial, el modelo log-logistic, el modelo de Richards y el modelo de Weibull. Los modelos logísticos, Gompertz y monomolecular, constituyen la base del análisis de las curvas de progreso de la enfermedad.

Sin embargo, ninguno de los modelos se ha desarrollado para aplicaciones específicas en Fitopatología, por lo que se debe tener especial cuidado en la interpretación biológica en sentido estricto de las variables y parámetros de estos modelos. El análisis adecuado de los modelos, permite entender las condiciones que se presentan en el campo; cómo y cuándo se produce el progreso de la enfermedad; además, facilita el uso de métodos de prevención de la enfermedad y fundamentalmente, permite optimizar las estrategias de control y formular otras alternativas para reducir el incremento de la enfermedad (Achicanoy López, 2000).

El objetivo de este trabajo fue realizar análisis temporales de epidemias del tizón foliar común del maíz (TFC), causado por *E. turcicum*, comparando híbridos de diferente reacción frente a esta enfermedad en diferentes localidades. Teniendo como objetivos específicos: i) registrar las severidades generadas por el TFC en diferentes materiales y localidades, ii) generar curvas de progreso de la enfermedad, iii) determinar el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, iv) determinar la tasa de progreso de la enfermedad y v) representar y comparar el desarrollo del TFC del maíz a partir de diferentes modelos epidemiológicos. Las

características epidemiológicas que identifican y caracterizan una epidemia de TFC permiten desarrollar estrategias y técnicas de manejo con un abordaje integral del agroecosistema.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Ensayos

Seis ensayos a campo fueron realizados en diferentes localidades del centro norte de Córdoba durante la campaña agrícola 2015-16 (**Tabla 1**). Los mismos fueron conducidos en microparcels donde se sembraron cuatro híbridos de maíz de diferente reacción frente al TFC provistos por la empresa KWS Argentina, siendo los mismos: i) resistente (R) con severidad final menor al 1 %, ii) moderadamente resistente (MR), con severidad final entre 1,1 y 5 %, iii) moderadamente susceptibles (MS), con severidad final entre 5,1 y 10 % y iv) Susceptible (S) con severidad final mayor al 10 %. Esta clasificación surgió en marco de un convenio de trabajo entre el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica de Córdoba y la empresa KWS Argentina, donde los materiales utilizados se clasificaron de esta manera en años previos y en distintas localidades.

Tabla 1. Ensayos realizados en el centro norte de Córdoba, para la caracterización de variables epidemiológicas descriptivas temporales del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), durante la campaña 2015-16.

Ensayo (n°)	Localidad	Fecha de siembra	Latitud	Longitud
1	Ballesteros	02/02/2016	-32,538153	-62,963570
2	Villa María	14/12/2015	-32,478755	-63,236600
3	Jesús María	17/12/2015	-30,790571	-64,069798
4	Río Segundo	23/12/2015	-31,614026	-63,937066
5	Freyre	15/12/2015	-31,153642	-62,185749
6	El Tío	10/01/2016	-31,366282	-62,825914

La siembra de los materiales se realizó con una densidad de 72 000 pl ha⁻¹, se fertilizó con 240 kg de urea al momento de la siembra, y se aplicaron de herbicidas pre emergentes, dependiendo de las malezas presentes en cada lote, en ninguna de las localidades fue necesario el uso de insecticida foliar. Las unidades experimentales de cada experimento fueron parcelas de 41,6 m² (8 surcos de ancho, sembrados a 0,52 cm de distanciamiento, por 10 metros de largo). Cada híbrido tuvo cuatro repeticiones, dispuestos en un diseño en bloques completos al azar.

2.2 Evaluaciones

En todos los ensayos se evaluaron epidemias generadas naturalmente por la presencia de inóculo de TFC existente en la región. Las evaluaciones se realizaron separadas entre si por aproximadamente 25 días. En total se realizaron siete evaluaciones de sanidad, en cada localidad sobre los cuatro híbridos durante el ciclo de cultivo. Las variables epidemiológicas estudiadas fueron: i) severidad (Sev), ii) curva de progreso de enfermedad (CPE), iii) área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), iv) severidad final (SF) y v) tasa aparente de infección o tasa de progreso de la enfermedad (r).

La severidad (S) se estimó como la relación entre el área foliar afectada y el área foliar sana expresada en porcentaje (%), registrándose en cada uno de los siete momentos de evaluación, sobre seis plantas al azar en cada unidad experimental. En los estados fenológicos vegetativos, la evaluación se realizó sobre las últimas cuatro hojas desplegadas y a partir de los estados fenológicos reproductivos se realizó sobre las hojas de la espiga (he), hoja de la espiga superior (he+1) y hoja de la espiga inferior (he-1). Como valor de severidad final (SF), expresado en porcentaje (%), se tomó la lectura del penúltimo momento de evaluación, en el estado fenológico de grano pastoso o R4 (Ritchie *et al.*, 1992), en las tres hojas de mayor importancia (he, he+1, he-1). La severidad de TFC en esas hojas y en ese estado de desarrollo del cultivo es reportado como la que provee la mejor relación con las pérdidas en rendimiento y sirve para diferenciar materiales de distinto comportamiento o reacción frente al TFC (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992, Paul & Munkvold, 2004). Para la estimación de la severidad se utilizó la escala diagramática de hoja completa y el sistema de entrenamiento de estimación visual de severidad causada por TFC, descriptos en el Capítulo V.

Las curvas de progreso de enfermedad (CPE) se obtuvieron al graficar la enfermedad acumulada en una población de plantas como severidad (variable dependiente) en función del tiempo (variable independiente). El área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), parámetro de intensidad adimensional, se estimó según la fórmula:

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(\frac{Y_i + (Y_i + 1)}{2} \right) ((t_i + 1) - t_i) \right]$$

Dónde: Y_i e $Y_i + 1$ son los valores de intensidad de la enfermedad, obtenida con base en el porcentaje de severidad registrado en dos evaluaciones consecutivas, $[(t_i + 1) - t_i]$ es el intervalo de tiempo entre ambas evaluaciones, y n la duración del período de evaluación (March *et al.*, 2012).

Para realizar el análisis visual de las epidemias se realizaron las curvas de progreso de la enfermedad (CPE) y sus respectivas curvas de la tasa de progreso de la enfermedad (dy/dt) para cada material en cada una de las seis localidades, ambas en función del tiempo.

Para caracterizar las curvas de progreso de severidad de la enfermedad, se consideraron dos modelos epidemiológicos no lineales: a) Logístico y b) Gompertz (Madden *et al.*, 2007).

Modelo Logístico

$$\frac{dy}{dt} = rLy(1 - y) \quad (1)$$

y : proporción de severidad en el rango $0 < y < 1$

t : tiempo

rL : tasa aparente de infección del modelo logístico

Para obtener el modelo determinístico se transformó la ecuación (1) mediante el cálculo integral:

$$y = 1/[1 + \exp(-b - rLt)] \quad (2)$$

b : ordenada al origen (nivel inicial de severidad y_0)

Modelo de Gompertz

$$\frac{dy}{dt} = rGy[(-\ln(y))] \quad (3)$$

y : proporción de severidad en el rango $0 < y < 1$

t : tiempo

rG : tasa aparente de infección del modelo de Gompertz

Para obtener el modelo determinístico se transformó la ecuación (3) mediante el cálculo integral:

$$y = \exp[-\exp(-b - rGt)] \quad (4)$$

b : ordenada al origen (nivel inicial de severidad y_0)

El ajuste de los dos modelos se efectuó por regresión no lineal de las estimaciones con respecto al tiempo, y se compararon a través del análisis de la varianza (ANAVA), empleando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2014). Previamente, los datos de severidad fueron linealizados con la transformación correspondiente:

a) Logístico: $\text{logit} = \ln[y/(1 - y)]$

b) Gompertz: $\text{gompit} = \ln[-\ln(y)]$

Como variable dependiente se utilizó logit o gompit mientras que como variable regresora se consideró tiempo (t = como días después de la siembra, DDS). Posteriormente, del análisis de regresión del modelo linealizado se obtuvieron los valores estimados del nivel

inicial de severidad (y_0), la tasa aparente de infección (r) y se determinó el crecimiento diario (dy/dt). La bondad de ajuste se evaluó considerando la significancia correspondiente al modelo y a los parámetros estimados y_0 y r , coeficiente de determinación (R^2) obtenido de la regresión lineal entre los valores transformados de la proporción de enfermedad (variable dependiente) y el tiempo (variable independiente), y el coeficiente de determinación ajustado (R^{2*}) obtenido de la regresión lineal entre los valores previstos (variable dependiente) y los observados (variable independiente), sin transformación (no linealizados) (Campbell & Madden, 1990).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis temporal de las epidemias del tizón foliar común del maíz mostró diferencias en las curvas de progreso de la enfermedad (CPE), en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), en las severidades finales (SF) y en la tasa de progreso de la enfermedad (r) de los cuatro híbridos estudiados en seis localidades durante la campaña 2015-16 (**Tabla 2, Figuras 1 y 2**).

El comportamiento sanitario en las seis localidades fue similar para los materiales evaluados y en todos los ambientes tanto la SF como el ABCPE presentaron diferencias estadísticamente significativas. Las mayores SF en materiales S, 45 y 37,5 % se determinaron en Ballesteros y Villa María, respectivamente. Por el contrario, en Jesús María, Río Segundo y Freyre, las SF registradas fueron menores al 5 %, y en El Tío menores al 1%. Aun con baja presión de enfermedad en las últimas localidades, se hallaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las SF. De igual manera, en Ballesteros y Villa María se registraron las mayores ABCPE 2150,1 y de 1335,7 respectivamente. En las demás localidades los valores de ABCPE siempre fueron inferiores a 32, en todos los casos con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) (**Tabla 2, Figura 1**).

La medición de una enfermedad se basa en la obtención de los valores de incidencia (proporción de individuos u órganos enfermos del total de plantas evaluadas) y de la severidad (proporción de tejido del órgano vegetal enfermo de cada nivel de escala medida). En general, la severidad permite un mejor ajuste estadístico constituyendo por lo tanto una metodología adecuada cuando se requiere mayor precisión en trabajos de mejoramiento o en estudios epidemiológicos (March *et al.*, 2004).

La severidad final como el ABCPE permitieron diferenciar las reacciones de los distintos materiales en las distintas localidades probados. La severidad final, es un parámetro práctico y de fácil evaluación. El ABCPE presenta mayor dificultad en su generación, por precisar de un mayor muestreo, pero genera información que permite registrar diferencias entre materiales de comportamiento similar (**Tabla 2, Figura 1**).

La severidad final del TFC en las hojas de mayor importancia y en el estado fenológico R4 es reportado por distintos autores como la que provee la mejor relación con las pérdidas en rendimiento y sirve para diferenciar materiales de distinto comportamiento o reacción frente al TFC (Fischer & Palmer, 1984; Fancelli, 1988; Pataky, 1992, Paul & Munkvold, 2004).

La reacción del híbrido frente al TFC fue relevante en la reducción de tanto de las severidades como ABCPE registradas; así el híbrido R, en todas las localidades presentó la menor SF y ABCPE, y en la localidad El Tío no desarrolló síntomas (**Tabla 2, Figura 1**). Estos resultados coinciden con muchos autores que indican que el método más económico y seguro para el manejo de enfermedades es el uso de cultivares resistentes (Pereira *et al.*, 1985; Cia & Fuzatto, 1999; Sharma *et al.*, 2005).

Tabla 2. Severidad final (SF) y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de híbridos de maíz con reacción R, MR, MS y S frente al tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en el centro norte de Córdoba, durante la campaña 2015-16.

Localidad	Reacción	SF (%)		ABCPE	
Ballesteros	R	2,0	a*	147,4	a*
	MR	15,0	ab	640,1	b
	MS	18,0	b	911,1	b
	S	45,0	c	2150,1	c
Villa María	R	3,3	a	165,3	a
	MR	3,0	a	161,0	a
	MS	4,7	a	244,3	a
	S	37,5	b	1335,7	b
Jesús María	R	0,0	a	8,0	a
	MR	3,0	b	161,9	b
	MS	3,0	b	206,0	b
	S	5,0	b	270,3	b
Río Segundo	R	1,0	a	29,5	a
	MR	1,5	a	68,3	b
	MS	2,0	a	83,0	bc
	S	4,0	b	142,1	c
Freyre	R	1,0	a	90,0	a
	MR	1,0	a	92,8	a
	MS	1,5	a	151,6	a
	S	3,5	b	319,4	b
El Tío	R	0,0	a	7,5	a
	MR	0,0	a	3,6	a
	MS	0,0	a	7,5	a
	S	0,1	b	13,1	b

Reacción: R = resistente, MR = moderadamente resistente, MS = moderadamente susceptible, S = Susceptible

SF (%) = severidad final

ABCPE = área bajo la curva de progreso de la enfermedad

*Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, Test de Tukey (0,05)

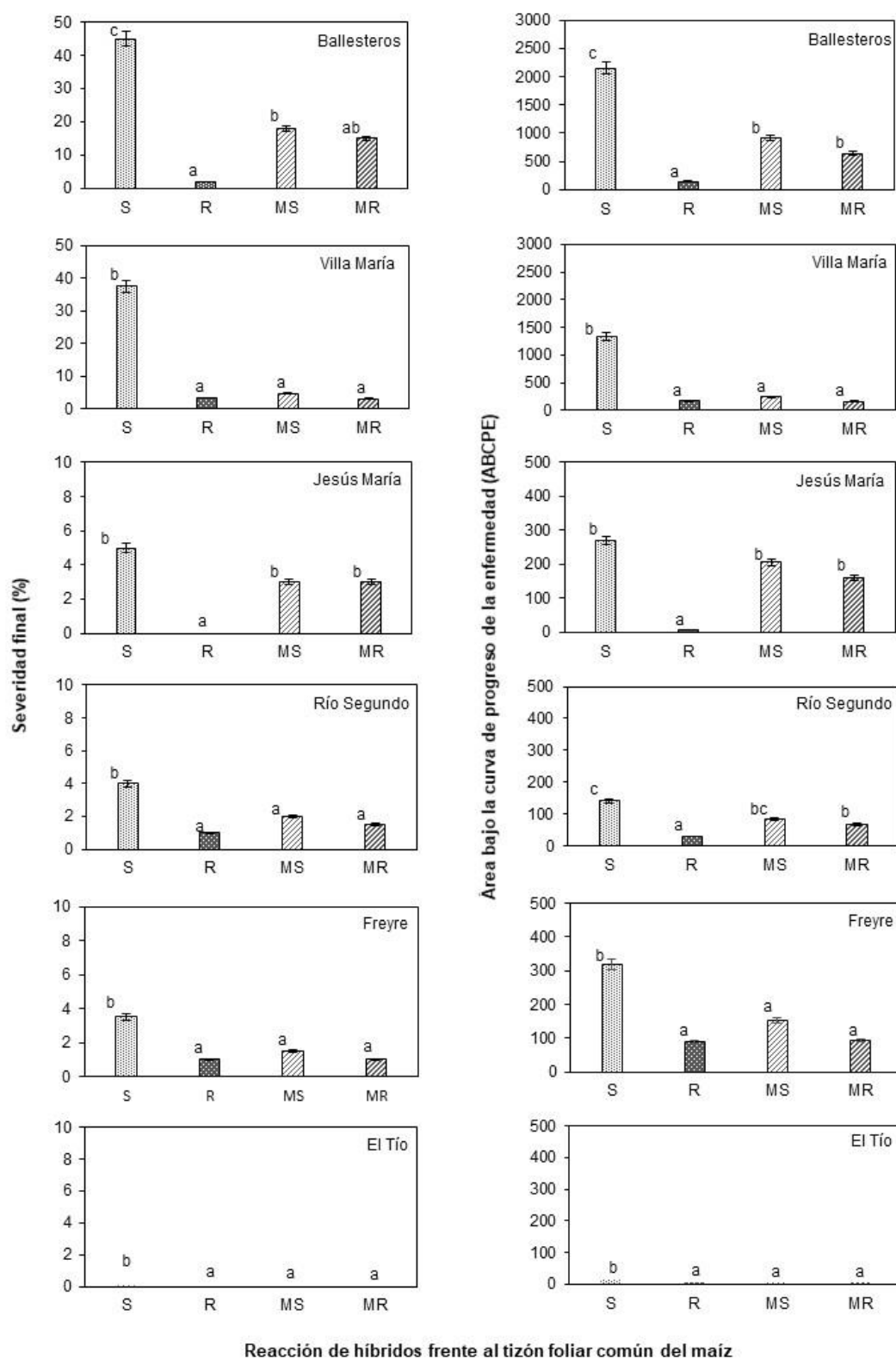


Figura 1. Severidad final (%) y área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) del tizón foliar común (TFC) del maíz (*Exserohilum turcicum*) en el centro norte de Córdoba durante, la campaña 2015-16, en cuatro híbridos con distinta reacción frente al TFC (resistente = R, moderadamente resistente = MR, susceptible = S y moderadamente susceptible = MS). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, Test Tukey (0,05). Intervalos sobre cada valor representa el error estándar.

En el análisis gráfico (**Figura 2**), la escala del eje vertical se mantuvo en rangos menores para las localidades de El Tío, Freyre, Río Segundo y Jesús María, y se aumentó, para las localidades de Ballesteros y Villa María con la finalidad de interpretar mejor las curvas de progreso de la enfermedad (CPE) y las curvas de la tasa de progreso de la enfermedad (dy/dt) generadas para cada material en cada una de las seis localidades.

El progreso de las epidemias de TFC registró, en mayor o menor magnitud, curvas de formato sigmoidal (**Figura 2**). Las mismas son características de enfermedades policíclicas, donde las epidemias poseen varios ciclos de infección durante el ciclo del cultivo (Fry, 1982; Bergamin Filho & Amorim, 1996). Los modelos que mejor representan este desarrollo son los modelos Logístico y de Gompertz (Achicanoy López, 2000; Bergamin Filho & Amorim, 1996).

El modelo Logístico, originalmente propuesto por Verhulst (1838) es el modelo más empleado para describir el progreso de epidemias desde que Vanderplank (1963) lo redescubrió en su clásico libro (Bergamin Filho & Amorim, 1996). Este modelo, al graficar los valores de x (severidad o proporción de severidad) en función del tiempo, origina una curva en forma de S (sigmoidal), donde los valores van de 0,0 a 0,5 x mostrando simetría en torno a $x = 0,5$; razón por la cual, la curva logística es sigmoide y simétrica (Bergamin Filho & Amorim, 1996; Achicanoy López, 2000). El modelo de Gompertz fue introducido en la epidemiología vegetal después del modelo Logístico, aun cuando su origen es más antiguo (Gompertz, 1825). Actualmente, ambos modelos son comúnmente utilizados para modelar epidemias (Berger, 1981; Waggoner, 1986; Campbell & Madden, 1990; Bergamin Filho & Amorim, 1996).

El modelo de Gompertz es adecuado para describir epidemias donde la tasa máxima de enfermedad ocurre más temprano que la tasa logística (Achicanoy López, 2000). El punto de inflexión, difiere del modelo Logístico ya que ocurre en el punto $x = 0,37$, haciendo que la curva sea asimétrica, inclinada hacia la izquierda. Es así que al graficar x en función del tiempo origina una curva también de forma de S, que difiere del modelo Logístico por presentar un crecimiento inicial más acentuado (Bergamin Filho & Amorim, 1996). Tanto la curva logística como la de Gompertz son muy útiles para ajustar datos de procesos de crecimiento. Incluso bajo diferentes restricciones, ambas curvas exhiben caracteres similares. La simetría es un inconveniente para la curva logística en el ajuste de datos de crecimiento y en la curva de Gompertz, asimétrica, el punto de inflexión ocurre antes. Todas estas características de la curva de Gompertz, la hace que sea más útil para datos de procesos de crecimiento. Esta función es especialmente útil para describir poblaciones de organismos que posean un rápido crecimiento (Dhar & Bhattacharya, 2018). El mejor ajuste a la función de Gompertz de las epidemias del TFC, está dado porque en este modelo la tasa máxima de enfermedad ocurre más temprano que en la curva logística. Por ello, la toma de decisión para el manejo de esta enfermedad del maíz, debe ser efectuada con anterioridad, con respecto a si es comparada con una enfermedad que ajuste a un desarrollo logístico.

Los modelos epidemiológicos deben ser usados para la previsión de niveles futuros de enfermedad y tomar decisiones antes que ocurran pérdidas económicas al cultivo. El conocimiento de las curvas de progreso de la enfermedad, permite hacer predicciones de las enfermedades de las plantas y seleccionar la mejor estrategia de manejo, aplicable en un momento y a una enfermedad particular (Achicanoy López, 2000).

El TFC presentó un desarrollo alto en las localidades de Ballesteros, Villa María y Jesús María, lo que permitió ajustar modelos epidemiológicos temporales y efectuar comparaciones entre ellos. Esto no sucedió en las localidades de Río Segundo, Freyre y El Tío, por lo que no se presenta los resultados de estas tres últimas localidades.

Se observó que los dos modelos probados, Logístico y Gompertz, presentaron un ajuste altamente significativo a las curvas de progreso del TFC de los genotipos estudiados, con valores superiores al 80 %.

El modelo epidemiológico de Gompertz presentó el mejor ajuste en promedio para los cuatro genotipos, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,909 y un coeficiente de determinación ajustado (R^{2*}) de 0,849. En todos los casos el modelo de Gompertz presentó mejores coeficientes de determinación (R^2 y R^{2*}) que el modelo Logístico (**Tabla 3**). Estos resultados coinciden con los hallados por Oddino *et al.* (2010), que determinaron sobre un material susceptible de maíz sembrado en Olaeta (sur de Córdoba), que los modelos epidemiológicos de Gompertz y Logístico ajustaron de manera significativa con valores de R^2 superiores a 80 %. Además, establecieron que el modelo de Gompertz fue el de mejor ajuste para las cuatro curvas de progreso de la enfermedad generadas con distintos momentos de aplicación de fungicidas. Los modelos de Gompertz y Logístico son los más adecuados para estudiar curvas de tipo sigmoidal (Campbell & Madden, 1990; Bergamin Filho & Amorim, 1996; Achicanoy López, 2000; March *et al.*, 2009). Los modelos epidemiológicos y las tasas de progreso (r) presentadas, corresponden a las condiciones presentes en las localidades estudiadas, y puede ser diferentes según las condiciones dadas en otros trabajos.

La estadística utiliza diversos criterios para escoger el modelo que mejor ajuste a un determinado conjunto de datos. Sin embargo, el coeficiente de determinación (R^2) de la regresión lineal entre los valores transformados de la proporción de enfermedad (variable dependiente) y el tiempo (variable independiente), aunque se use con frecuencia en otros trabajos, no puede ser usado como criterio según Jeger (1986). Así, el coeficiente de determinación ajustado (R^{2*}) obtenido de la regresión lineal entre los valores previstos (variable dependiente) y los observados (variable independiente), sin transformación (no linealizados), representa mejor el progreso de la enfermedad (Campbell & Madden, 1990). Para comparar las distintas metodologías de ajuste de modelos estadísticos se presentan ambos coeficientes de determinación (**Tabla 3**).

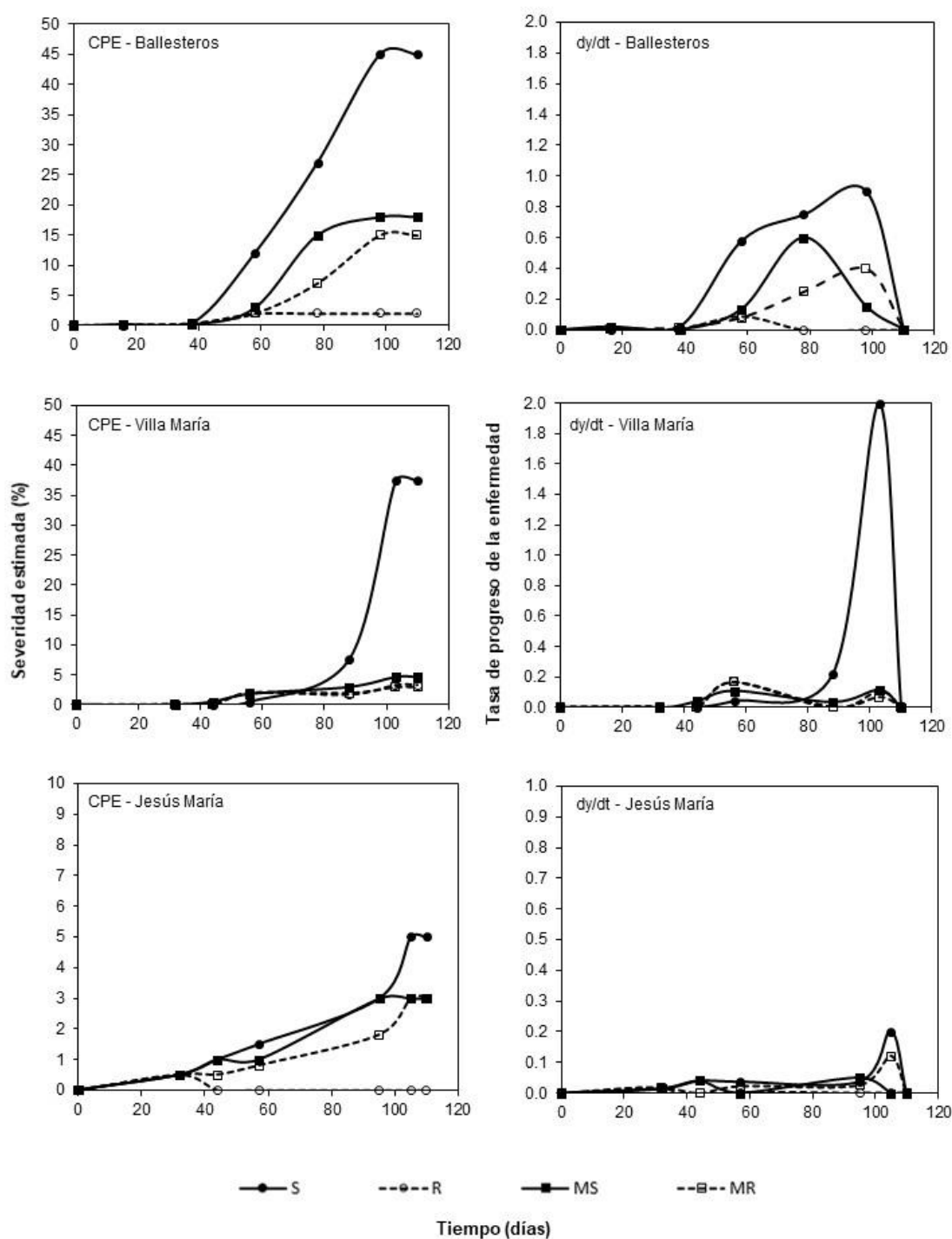


Figura 2. Curvas de progreso de la enfermedad (CPE) y curvas de la tasa de progreso en el tiempo (dy/dt) del tizón foliar común (TFC) del maíz (*Exserohilum turcicum*) en seis localidades del centro norte de Córdoba, durante la campaña 2015-16, en cuatro híbridos con distinta reacción frente al TFC (resistente = R, moderadamente resistente = MR, susceptible = S y moderadamente susceptible = MS).

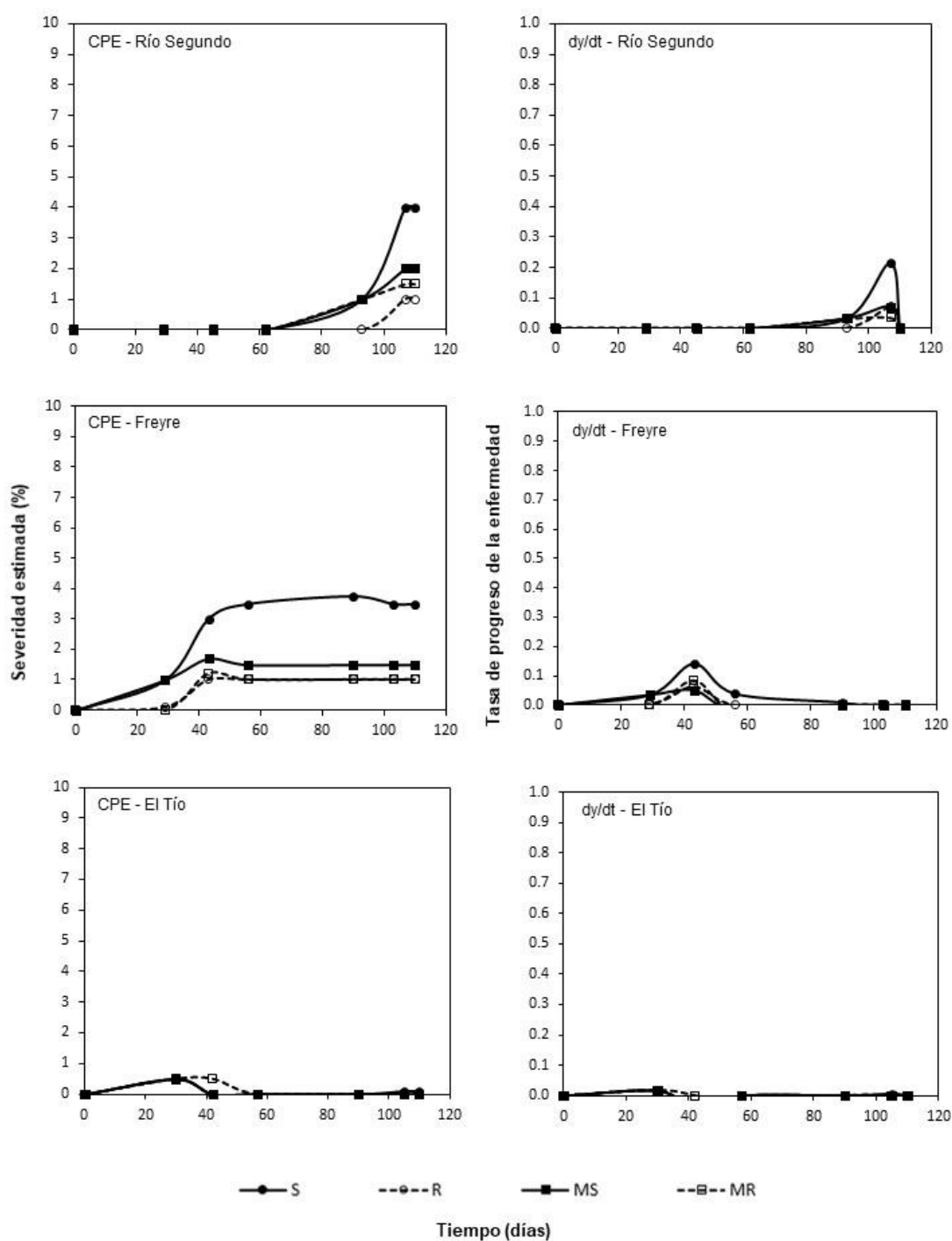


Figura 2 (continuación). Curvas de progreso de la enfermedad (CPE) y curvas de la tasa de progreso en el tiempo (dy/dt) del tizón foliar común (TFC) del maíz (*Exserohilum turcicum*) en seis localidades del centro norte de Córdoba, durante la campaña 2015-16, en cuatro híbridos con distinta reacción frente al TFC (resistente = R, moderadamente resistente = MR, susceptible = S y moderadamente susceptible = MS).

Tabla 3. Análisis de regresión no lineal para los modelos Logístico y Gompertz para la severidad del tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*), en la campaña 2015/16, en las localidades de Ballesteros, Villa María y Jesús María, del centro norte de Córdoba, en cuatro híbridos con distinta reacción frente a la enfermedad (R, MR, MS y S).

Localidad	Reacción	Modelo	R ²	R ^{*2}	y ₀	r
Ballesteros	R	Log	0,745	0,352	-9,205	0,060
		Gomp	0,812	0,506	-2,200	0,009
	MR	Log	0,893	0,795	-9,545	0,082
		Gomp	0,985	0,943	-2,340	0,017
	MS	Log	0,900	0,697	-7,972	0,067
		Gomp	0,942	0,863	-2,165	0,016
	S	Log	0,890	0,867	-7,736	0,078
		Gomp	0,957	0,971	-2,210	0,023
Villa María	R	Log	0,865	0,711	-8,648	0,053
		Gomp	0,874	0,814	-2,194	0,009
	MR	Log	0,859	0,647	-8,625	0,052
		Gomp	0,867	0,765	-2,187	0,009
	MS	Log	0,894	0,764	-8,371	0,055
		Gomp	0,944	0,891	-2,165	0,010
	S	Log	0,979	0,842	-9,738	0,084
		Gomp	0,894	0,939	-2,607	0,022
Jesús María	R	Log	-	-	-	-
		Gomp	-	-	-	-
	MR	Log	0,821	0,861	-7,819	0,043
		Gomp	0,914	0,936	-2,064	0,008
	MS	Log	0,779	0,654	-7,623	0,043
		Gomp	0,879	0,775	-2,026	0,008
	S	Log	0,822	0,839	-7,685	0,048
		Gomp	0,926	0,936	-0,009	0,009

* R² = coeficiente de determinación

* R^{*2} = coeficiente de determinación entre valores observados y previstos, ambos no transformados

* y₀ = inóculo inicial

* r = tasa aparente de infección

Existen varias razones para estudiar el progreso de una enfermedad en el campo, una de ellas es generar conocimientos sobre su comportamiento para lograr información acerca de cómo controlar la enfermedad, otras son determinar la eficiencia de fungicidas o el comportamiento de cultivares frente a un patógeno, sin embargo, la principal, es estudiar la causa de la ocurrencia de la epidemia (Waggoner, 1986).

En una enfermedad policíclica, como el TFC del maíz, la cantidad de inóculo inicial tiene una importancia relativamente menor en la SF, siendo más importante el número de ciclos de la enfermedad (Bergamin Filho & Amorim, 1996; March *et al.*, 2009). La resistencia cuantitativa u horizontal, la modificación del ambiente y el control químico durante el cultivo son herramientas usualmente aplicadas como prácticas de manejo agrícola para disminuir la tasa aparente de infección de una enfermedad y con ella el número de ciclos infectivos, las mismas son frecuentemente utilizadas en enfermedades policíclicas (March *et al.*, 2012).

Vanderplank (1963) señaló que la genética y la química proporcionaban excelentes tácticas de manejo de enfermedades, pero la estrategia está determinada por la epidemiología. Desde ese entonces, la relación entre la epidemiología y el manejo de enfermedades se ha mantenido en el tiempo (Jeger, 2000; Zadocks, 2001).

Las características epidemiológicas que identifican y caracterizan cada epidemia (forma de la curva, tasa aparente de la infección, crecimiento diario, modelo epidemiológico), generan los principios y conocimientos fundamentales, que conducen a la solución de los problemas fitosanitarios en los cultivos. Sin embargo, los conocimientos sobre epidemiología para generar tácticas y estrategias de manejo no alcanzan por si solos y es preciso acompañarlos con el conocimiento del patosistema y del agroecosistema, con la participación de técnicos y productores (Jeger, 2004; March *et al.*, 2010).

4. CONCLUSIONES

El análisis temporal de epidemias de TFC en el centro norte de Córdoba permite diferenciar híbridos de maíz con diferentes reacciones y poner en valor la importancia de la genética de los materiales.

Los híbridos estudiados presentan diferentes curvas de progreso de la enfermedad, áreas bajo la curva del progreso de la enfermedad, severidades finales y tasas de progreso.

El modelo de Gompertz presenta el mejor ajusta para la descripción de las epidemias de TFC en el centro norte de Córdoba.

El análisis temporal para el patosistema maíz - TFC, genera conocimientos epidemiológicos básicos, que conducen a la solución de los problemas causados por esta enfermedad en el centro norte de Córdoba.

AGRADECIMIENTO

A la empresa KWS Argentina S.A., por la ayuda en la siembra y mantenimiento de las parcelas en las seis localidades, así como la provisión de la semilla de cada material estudiado en este trabajo.

5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo IV

Achicanoy López, H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 53 (1): 941-968.

- Bergamin Filho, A. 1995. Curvas de Progresso da doença. En: Bergamin Filho, A.; Kimati, H. & Amorim, L. Manual de Fitopatologia. Vol.1: Princípios e Conceito. São Paulo: Agronômica Ceres, pp. 902-626.
- Campbell, C. L. & Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York. John Wiley, pp. 532.
- Cia, E. & Fuzatto, M.G. 1999. Manejo de doenças na cultura do algodão. En: Cia, E.; Freire, E.C. & Santos, W.J. (Eds.) Cultura do algodoeiro. Piracicaba: Potafós, pp. 121-131.
- Dhar, M. & Bhattacharya, P. 2018. Comparison of the logistic and the Gompertz curve under different constraints. Journal of Statistics and Management Systems, 21(7): 1189-1210. doi:10.1080/09720510.2018.1488414
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2010. InfoStat, software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fancelli, L.A. 1988. Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). (Tese de Doutorado). Piracicaba. Universidade de São Paulo.
- Fischer, K.S. & Palmer, F.E. 1984. Tropical maize. En: Goldsworthy, P.R. & Fisher, N.M. (Eds.). The physiology of tropical field crops. Wiley, pp. 231-248.
- Fry, W.E. 1982. Principles of plant disease management. Academic Press, Inc., pp. 378.
- Jeger, M.J. 1986. The potencial of analytic compared with simulation approaches to modeling in plant disease epidemiology. In Leonard, K.J. & Fry, W.E. (ed). Plant Disease Epidemiology. Population, Dynamics and Management. New York, MacMillan, pp.255-281.
- Jeger, M.J. 2000. Theory and plant epidemiology. Plant Pathology 49: 651-658.
- Jeger, M.J. 2004. Analysis of disease progress as a basis for evaluating disease management practices. Annu. Rev. Phytopathology 42: 61-82.
- Madden L.V.; Hughes G. & Van Den Bosch, F. 2007. The study of plant disease epidemics. APS Press, St. Paul, MN, pp. 432.
- March, G.J.; Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2012. Análisis del progreso de epidemias y pérdidas que causan. Manual Curso de Especialización en Protección Vegetal. Universidad Católica de Córdoba, pp. 86.

- March, G.J.; Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. Córdoba: INTA-UNRC, pp. 193. ISBN: 978-987-05-9063-7
- March, G.J.; Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2004. Epidemiología aplicada al manejo de las enfermedades de los cultivos. Curso de posgrado. Especialización en Protección Vegetal, Escuela de Posgrado, Universidad Católica de Córdoba, pp.110.
- Oddino, C.; Marinelli, A.; García, J.; Garcia, M.; Tarditi, L.; Ferrari, S.; D'Eramo, L. & March, G.J. 2010. Comparación del efecto de momentos de tratamientos fungicidas sobre enfermedades foliares del maíz a través de modelos epidemiológicos no flexibles. Actas IX Congreso Nacional de Maíz, Rosario, Argentina.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. Phytopathology 82: 370-375.
- Paul, P.A. & Munkvold, G.P. 2004. A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. Phytopathology 94: 1350-1357.
- Pereira, A.A.; Zambolim, L. & Chaves, G.M. 1985. Melhoramento visando a resistência a doenças. Informe Agropecuário, Belo Horizonte 11(122): 82-92.
- Ramathani, I.; Biruma, M.; Martin, T.; Dixelius, C. & Okori, P. 2011. Disease severity, incidence and races of *Setosphaeria turcica* on sorghum in Uganda. Eur. J. Plant Pathol. DOI: 10.1007/s10658-011-9815-1.
- Sharma, R.C.; Rai, S.N. & Batsa, B.K. 2005. Identifying resistance to banded leaf and sheath blight of maize. Indian Phytopathology 58: 121-122.
- Teng, P.S. & Zadoks, J.C. 1980. Computer simulation of plant disease epidemics. In: McGraw-Hill Yearbook of Science and technology, pp. 23-31.
- Kranz, J. 1974. Comparison of epidemics. Ann. Rev. of Phytopathology 12: 355-374.
- Waggoner, P.E. 1986. Progress curves of foliar disease: their interpretation and use. In: Leonard, K.J. & Fry, N. E. eds. Plant Disease Epidemiology: Population dynamics and management, New York, MacMillan, pp. 3-54.

CAPÍTULO V

ESCALA DIAGRAMÁTICA DE HOJA COMPLETA Y SOFTWARE DE ENTRENAMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SEVERIDAD FOLIAR CAUSADA POR EL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL MAÍZ (*Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS).

DIAGRAMMATIC SCALE OF FULLY EXPANDED LEAF AND TRAINING SOFTWARE FOR ESTIMATION OF LEAF SEVERITY CAUSED BY NORTHERN CORN LEAF BLIGHT (*Exserohilum turcicum* (PASS.) LEONARD & SUGGS).

RESUMEN

El tizón foliar común (TFC) del maíz, causado por *E. turcicum*, es considerado una enfermedad de relevancia en Argentina, por ello, se requieren de metodologías estandarizadas de cuantificación de los daños que ocasiona para poder realizar estudios epidemiológicos reproducibles. Es así que los objetivos de este trabajo fueron: i) desarrollar una escala diagramática del TFC con hojas verdaderas y de tamaño completo, y ii) desarrollar un software de entrenamiento de estimación de severidad. Así, se recolectaron y fotografiaron en alta calidad 250 hojas enteras de maíz. Cada imagen fue procesada con el programa tpsDig2, para determinar el área foliar total (AFT) de cada hoja (cm²) y el área lesionada total (ALT) (cm²), las que fueron utilizadas para el cálculo de la severidad real (SR), mediante el uso de la ecuación $SR (\%) = (AFT/ALT) \times 100$. Para la realización de la escala, se utilizó el valor máximo de severidad registrado y se definieron intervalos logarítmicos de cada nivel mediante el programa DOSLOG. La precisión de las evaluaciones se estimó a través del coeficiente de determinación (R^2) y la distribución de los residuos; y la exactitud por medio del test "t" aplicado a la ordenada de origen. La reproducibilidad, se determinó a través del coeficiente de determinación lineal (R^2) entre los valores estimados por diferentes evaluadores combinados de a pares. También se comparó el número de manchas con respecto a la severidad real. Así, se generó una escala diagramática de la severidad del TFC de hoja completa de 12 clases, la misma se presenta como imágenes de hojas completas a color y esquemas de las hojas completas en blanco y negro. En su validación, el uso de la misma, mejoró la precisión ($R^2=0,92$), exactitud y reproducibilidad ($R^2=0,87$) de las evaluaciones. Con esta información se generó un software que permite practicar la estimación de imágenes con diferentes niveles de severidad de TFC y al finalizar visualizar los resultados permitiendo realizar ajustes para mejorar la precisión y exactitud de la estimación. También se determinó que el número manchas o lesiones del TFC no es una variable patométrica de valor ($R^2=0,37$). De esta manera se desarrollaron importantes herramientas para una cuantificación precisa y reproducible del daño del TFC, parte fundamental en la toma de decisiones de manejo de este patosistema.

Palabras clave: *Zea mays*, helmintosporiosis, escala diagramática, software de entrenamiento

ABSTRACT

Northern corn leaf blight (NCLB), caused by the fungus *E. turcicum*, is considered an important disease in Argentina. Hence, there is a need to have standardized methods for quantifying disease damage so that reproducible epidemiological studies can be conducted. The objectives of this work were to: i) develop a diagrammatic scale of NCLB with true and full leaves, and ii) develop a training software tool for estimating severity. For this purpose, 250 full leaves were collected and high-quality images were taken. Each image was processed using the tpsDig2 program to determine the total leaf area (TLA) of each leaf (cm²) and the total area affected (TAA) (cm²). These measures were used to calculate actual severity (AS) with the equation $AS (\%) = (TLA / TAA) * 100$. To perform this scale, the highest severity value recorded was used, and the logarithmic intervals of each level were defined using the program DOSLOG. Precision of the evaluations was estimated using the coefficient of determination (R^2) and distribution of residuals and accuracy, using the "t" test applied to the intercept. Reproducibility was determined using the coefficient of determination (R^2) between the severity values estimated by different raters combined in pairs. Moreover, the number of spots was compared with actual severity. Thus, a 12-class diagrammatic scale of NCLB severity of full leaf was generated; it is presented as color images of full leaves and as a black and white schemes of full leaves. When validated, the use of the scale improved precision ($R^2=0.92$), accuracy and reproducibility ($R^2=0.87$) of the tests. Based on this information, a software tool was designed, which allows us to practice the estimation of images with different NCLB severity levels and, in the end, visualize the results and make the necessary adjustments to improve precision and accuracy of estimation. The number of NCLB spots or lesions is not a pathometric variable to be used in epidemiological works ($R^2=0.37$). Thus, important tools were developed for the precise and reproducible quantification of damage by NCLB, which is an essential component for decision-making in this pathosystem

Keywords: Northern corn leaf blight, *Zea mays*, helminthosporium, diagrammatic scale, training software

1. INTRODUCCIÓN

El tizón foliar común (TFC) del maíz causado por el hongo *E. turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, es de ocurrencia mundial (Carson & Van Dyre, 1994), y ocasiona daños al rendimiento superiores al 40 %, bajo condiciones ambientales favorables. En Argentina, es la principal preocupación sanitaria del cultivo y se presenta con mayor intensidad en maíces de siembra tardía, con pérdidas de hasta el 42 % de rendimiento (Guerra & De Rossi, 2010).

La cuantificación de los daños que ocasiona una enfermedad, dada su relevancia, requiere del uso de metodologías estandarizadas que permitan realizar estudios epidemiológicos reproducibles. La cuantificación de la intensidad de una enfermedad es tan importante para la fitopatología como un diagnóstico correcto. Ningún estudio en epidemiología o sus aplicaciones, sería posible sin cuantificar una enfermedad (Kranz, 1988). Métodos de diagnóstico de enfermedades están universalmente estandarizados, al mismo tiempo, métodos para la cuantificación de las enfermedades aún están en la fase de desarrollo, habiendo una necesidad de uniformizar la metodología y generar acuerdos en los criterios utilizados (James & Teng, 1979; March *et al.*, 2010).

En este contexto, existen diversas propuestas, entre ellas el uso de escalas diagramáticas, que son representaciones ilustradas de una serie de plantas, hojas o partes de plantas con síntomas de la enfermedad en diferentes niveles de severidad. En términos generales, las escalas diagramáticas deben presentar niveles de severidad reproducibles en el campo, representar el patrón de evolución de la enfermedad y permitir una evaluación inmediata (Berger, 1980). Actualmente, estas escalas son la principal herramienta de evaluación de severidad de muchas enfermedades (Bergamin Filho & Amorin, 1996). La primera escala diagramática fue creada por Cobb en 1982, para evaluar la roya de la hoja en cereales en Australia, citado por Campbell & Madden (1990), y es considerada como una de las grandes contribuciones a la Fitopatología, extendiéndose el concepto de su necesidad a muchos otros patosistemas. Posteriormente, se continuó con la elaboración y validación de escalas diagramáticas de daño para cuantificar enfermedades foliares en diversos cultivos (Godoy *et al.*, 1997; Noronha, 2002; Tovar Soto *et al.*, 2002; Spósito *et al.*, 2004; Barbosa *et al.*, 2006; Michereff *et al.*, 2006a y 2006b; Camochena *et al.*, 2008; Lazaroto *et al.*, 2012; Crenna *et al.*, 2012; Vieira *et al.*, 2014; Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018).

La medición de una enfermedad a través de la severidad, al ser una medida subjetiva, constituye un problema complejo que pueden inducir graves errores de precisión, exactitud y reproducibilidad, y presenta una menor eficiencia con respecto a una medición objetiva, como la incidencia (Kranz, 1988). La cuantificación de la severidad de una enfermedad, puede tener un alto costo, el que debe ser minimizado, ya que no se puede eliminar totalmente (Osada Velázquez & Mora Aguilera, 1997; Tovar Soto *et al.*, 2002). Por ello, es necesario seleccionar

un sistema de medición cuyo valor estimado, se aproxime satisfactoriamente al valor real del grado de una enfermedad. Además, hay que considerar las limitaciones que tienen los diversos métodos empleados en la epidemiología (James, 1971; Van Schoonhoven & Pastor, 1987; Cassanello *et al.*, 1989; Campbell & Madden, 1990). Existen diversos métodos automatizados para medir la intensidad de una enfermedad (sistemas remotos, videos, etc.); sin embargo, los de estimación visual de la severidad de una enfermedad son ampliamente utilizados, debido a la simpleza, sencillez y costo (Van Schoonhoven & Pastor, 1987; Jaraba *et al.*, 1999).

La estimación visual de la severidad de una enfermedad es un aspecto fundamental en muchos proyectos fitopatológicos, incluyendo estudios epidemiológicos (Burleigh *et al.*, 1972a), estudios de fungicidas (Luke *et al.*, 1986), evaluación de la pérdida en los cultivos (Burleigh *et al.*, 1972b), como también para la evaluación de progenitores y progenie para determinar la resistencia a enfermedades (Bailey *et al.*, 1987). Las escalas diagramáticas son representaciones ilustradas de una serie de plantas o partes de ellas con diferentes grados de daños, cuyo uso permite evaluar la cantidad de daño provocado por una enfermedad o insecto y proporciona resultados exactos, precisos y reproducibles, tanto entre evaluadores experimentados como sin experiencia (Campbell & Madden, 1990).

En 1945, Horsfall & Barrat, redescubrieron la ley de Weber-Fechner, que expresa que la agudeza visual es proporcional al logaritmo de la intensidad del estímulo recibido. Es decir, el estímulo proporcionado por los síntomas de una enfermedad debe crecer exponencialmente para ser diferenciados por la vista humana. De esta manera, se pueden distinguir hojas con 3 % de enfermedad de aquellas que poseen 6 %, pero no es posible diferenciar hojas con 25 %, de otras con 30 % de enfermedad (Bergamin Filho & Amorin, 1996). Horsfall & Barrat (1945) describen que la cuantificación de la severidad de las enfermedades de plantas está basada en dos principios: i) que el ojo humano es una fotocélula que lee en logaritmos y ii) que el ojo humano distingue enfermedad por debajo del 50 % y ve tejido sano, por encima del 50 %. De esta manera, las evaluaciones visuales de severidad se tornan importantes y el uso de escalas diagramáticas logarítmicas, permite disminuir la subjetividad de las observaciones visuales (Godoy *et al.*, 1997).

La experiencia y un conocimiento completo de los síntomas característicos de una determinada son insustituible para la estimación de enfermedades. Sin embargo, las escalas de enfermedad y diagramas estándares pueden mejorar la eficiencia, precisión y repetitividad de estimaciones tanto para evaluadores experimentados como para aquellos sin experiencia (Castaño Zapata, 1991). Nuevos métodos están siendo desarrollados y puestos a disposición (Tomerlin & Howell, 1988), técnicas modernas como el análisis de imágenes por resonancia magnética, fotografía infrarroja, termógrafo infrarrojo y reflectancia espectral. Estos se caracterizan por la precisión, pero difícil uso por los altos costos (Nilsson, 1995). También,

existen diferentes programas computacionales (software) de entrenamiento de estimación visual de enfermedades, que son herramientas que pueden ser utilizadas por cualquier persona interesada. Es así, que una persona sin experiencia puede ser entrenada a través de su utilización, o el uso de un software puede ayudar a una persona experimentada a mejorar sus estimaciones. La mayor ventaja de este método, reside en mostrarle al usuario cuán cerca de lo real es su estimación de severidad. Y si se identificaran problemas, una persona puede practicar hasta alcanzar un nivel aceptable como evaluador. Inclusive, integrantes de un mismo laboratorio pueden confiar que las plantas son evaluadas de la misma manera por distintas personas (Tomerlin & Howell, 1988).

El desarrollo de una escala diagramática para el TFC de hoja completa y un software de entrenamiento de estimación de severidad, utilizando hojas de maíz con distintas severidades, permitiría capacitar a diferentes agentes para que evalúen con precisión y exactitud. El uso, tanto de programas de entrenamientos de estimación de severidad, como de escalas diagramáticas, mejoran la exactitud y precisión de la evaluación, siendo complementarios y no mutuamente excluyentes, debiendo ser utilizados mejor la calidad de los datos sobre la enfermedad en estudio. Los objetivos de este trabajo fueron: i) desarrollar una escala diagramática para el TFC del maíz con hojas verdaderas y de tamaño completo, ii) desarrollar un software de entrenamiento de estimación de severidad y iii) comparar estas metodologías con el registro del número de lesiones, y en base a la información generada, capacitar a diferentes agentes para evaluar con precisión, exactitud y reproducibilidad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Escala diagramática

Para la elaboración de una escala diagramática para la estimación visual de la severidad de TFC del maíz se recolectaron 250 hojas enteras de maíz en lotes de producción de la región centro norte de la provincia de Córdoba, durante las campañas agrícolas 2014-15 y 2015-16. Fueron seleccionadas hojas del tercio medio del cultivo de maíz (hoja de la espiga (he), he+1 y he-1), provenientes de diferentes híbridos, con distinta base genética y tamaño de hoja, a partir de las cuales se observó un amplio rango de severidades que se vio reflejado en la variabilidad de valores de severidad en la escala diagramática. Esta selección permitió representar distintos niveles de severidad, en diferentes tamaños de hoja y con vastas reacciones a la enfermedad. Cada hoja completa se fotografió en alta calidad, con una cámara digital Nikon D3500 de 24,2 megapíxeles, y luego, cada imagen fue procesada con el programa de determinación de áreas tpsDig2 (Rohlf, 2004), a través del cual se determinó el área foliar total (AFT) de cada hoja (cm²) y el área lesionada total (ALT) por el TFC en cm². Estas áreas fueron utilizadas para el cálculo de la severidad real (SR) de la enfermedad,

mediante el uso de la ecuación $SR (\%) = \left(\frac{AFT}{ALT} \right) * 100$. Estos datos, a partir de las evaluaciones del análisis de las imágenes se asumieron como los valores reales (o instrumentales), siendo un método preciso y repetible. También se registraron el largo (cm) y ancho (cm) de cada hoja de maíz para considerar las dimensiones reales y al mismo tiempo, se contabilizó el número de lesiones (n°L) o manchas de TFC de cada hoja. Para validar la utilización de la variable número de lesiones (n°L) de uso común en el sector productivo se analizó su asociación con el n°L del TFC con la severidad real de cada hoja.

Para la construcción de la escala diagramática se fijaron dos premisas: i) diferenciar valores entre 0 y 5 % de severidad, ya que son los valores con los que se toman la mayoría de las decisiones de manejo en este patosistema particular y ii) distinguir la mayor cantidad de rangos posibles de registrar en el campo. Esta misma información fue la base para generar un software de entrenamiento de estimación visual de severidad. Al mismo tiempo se postularon dos formatos para generar la escala diagramática: i) imágenes de hojas reales completas a color y ii) esquemática, es decir, con diagramas de las mismas hojas completas en blanco y negro, donde el color blanco corresponde al área foliar sana y el negro, al área con lesiones del TFC del maíz. Se seleccionó para las mismas la hoja que representaba el valor medio de severidad de cada clase determinada.

Para la realización de la escala se utilizó el valor máximo de severidad obtenido de las hojas recolectados y los intervalos de escala se calcularon mediante el programa DOSLOG versión 1,0 para Windows® (Osada Velázquez & Mora Aguilera, 1997), que emplea un ajuste del método propuesto por Horsfall & Barratt (1945). Se plantearon escalas de diferentes de clases de severidad que fueron sometidas a validación evaluando exactitud, precisión y reproducibilidad. Este procedimiento, basado en la ley del estímulo de Weber-Fechner que establece que la mayor resolución visual se daría en los extremos 0-10 % de severidad y de 90-100 % de severidad; siendo que próximo a valores de 50 % se reduce la capacidad discriminatoria entre niveles de enfermedad (Osada Velázquez & Mora Aguilera, 1997).

La validación de la escala diagramática propuesta fue realizada mediante la estimación de la severidad de imágenes de hojas de maíz con síntomas de TFC por 10 evaluadores, siendo nueve de ellos personas sin experiencia directa en el ámbito fitopatológico y un evaluador, con experiencia en la cuantificación de enfermedades. Los evaluadores estimaron visualmente la severidad de las lesiones en dos etapas: i) inicialmente con 50 imágenes sin la utilización de la escala diagramática y ii) posteriormente, 50 imágenes con la ayuda de la escala. El porcentaje de área foliar afectado fue estimado por los evaluadores, considerando como área enferma tanto el tejido clorótico como el necrosado. La precisión y exactitud de las estimaciones visuales de cada evaluador se determinaron por análisis de regresión lineal (Nutter & Shultz, 1995), considerando a la severidad real (o instrumental) como variable

independiente y a la severidad estimada por el evaluador, como variable dependiente utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo, 2010).

La precisión de las evaluaciones se estimó a través del coeficiente de determinación (R^2) y la distribución de los residuos (daño predicho menos daño observado), la exactitud se evaluó por medio del test "t" aplicado a la ordenada en el origen de la recta de regresión (a), para verificar la hipótesis estadística nula que la ordenada al origen es igual a cero ($H_0: \alpha=0$), y a la pendiente de la recta de la regresión (β) para verificar la hipótesis de que existe una relación lineal entre los valores estimados por el observador y los valores reales (instrumentales) ($H_0: \beta=1$), al 0,05 de probabilidad (Tovar Soto *et al.*, 2002; Téliz-Ortiz, *et al.*, 2003; Martins *et al.*, 2004; Michereff *et al.*, 2006a y 2006b). Valores de ordenada al origen distintos de 0 indican desvíos constantes y valores de pendiente distintos de 1, indican desvíos sistemáticos en las evaluaciones.

La reproducibilidad, que indica si la escala puede ser usada eficientemente por otros evaluadores, se determinó a través del coeficiente de determinación (R^2) obtenido de las regresiones lineales entre los valores de severidad estimados por los diferentes evaluadores combinados de a pares (Nutter & Schultz, 1995).

2.2 Software de entrenamiento de estimación de severidad

Para el desarrollo de un software (programa computacional) de entrenamiento de estimación visual de severidad causada por el TFC, de libre acceso, similar a los conocidos Disease Pro (Nutter & Worawitlikit, 1989) y Distrain (Tomerlin & Howell, 1988), se utilizaron las imágenes de las 250 hojas completas y la escala diagramática generada. Para los aspectos de programación se contó con el asesoramiento de la empresa Intruder Agro, y el mismo se llevó a cabo con el lenguaje de programación C# perteneciente a Microsoft.NET Framework 4.5, utilizando highcharts para los gráficos.

La validación del software propuesto, fue realizada mediante la estimación de la severidad de imágenes de maíz con síntomas de TFC, por 20 evaluadores, 18 de ellos sin experiencia directa en el ámbito fitopatológico y sin experiencia, en la cuantificación de la severidad de enfermedades, y dos expertos en medición de enfermedades. Los evaluadores estimaron visualmente la severidad de las lesiones en dos etapas: i) inicialmente con 50 imágenes sin entrenamiento previo y luego ii) 50 imágenes con un entrenamiento previo de diez minutos. El porcentaje de área foliar afectado fue estimado por los evaluadores, considerando como área enferma tanto el tejido clorótico como el necrosado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Escala diagramática

Una escala diagramática de hoja completa para la estimación visual de la severidad del TFC del maíz fue generada, a partir de 250 imágenes de alta calidad de hojas de maíz con un amplio rango de severidades entre 0 y 66,7 %. Otros trabajos han empleado un número inferior de muestras, con los valores de severidad simulados y/o creados a través de incrementos logarítmicos (Camochena *et al.*, 2008; Lazaroto *et al.*, 2012; Crenna *et al.*, 2012, Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018). Según Bergamin Filho & Amorin (1996), las escalas diagramáticas son la principal herramienta para la evaluación de la severidad de muchas enfermedades. Siendo uno de sus requisitos para ser utilizadas, que representen lo mejor posible lo que sucede a nivel de campo, de allí el amplio muestreo realizado ($n= 250$) procurando distintas severidades y máximas severidades foliares que puedan ser registradas antes de la senescencia completa de la hoja.

La escala diagramática para la estimación visual de la severidad del TFC del maíz generada se presentó con imágenes de hojas reales completas a color y de manera esquemática, es decir con el diagrama de las mismas hojas completas en blanco y negro (**Figura 1**). La posibilidad de visualizar la severidad del TFC en imágenes de hoja completa verdadera y al mismo tiempo en formato esquemático, ayuda a una mejor interpretación de la escala, pudiendo realizar una estimación próxima a la verdadera a registrar a nivel de campo. Así, la escala generada se diferencia de otras escalas donde sólo se presentan porciones de hojas (Lazaroto *et al.*, 2012) o diagramas de hojas simuladas (Bleicher, 1988; Pataky, 1992; Vieira *et al.*, 2014). En Argentina estimaciones de severidad del TFC del maíz utilizando las escalas diagramáticas elaboradas por Bleicher (1988) y/o Pataky (1992) son ampliamente difundidas entre investigadores, fitopatólogos y técnicos pertenecientes a universidades, semilleros y empresas. Estas dos escalas, así como la de Lazaroto *et al.* (2012), presentan la dificultad de ser sólo diagramas en blanco y negro, y, además, no representan hojas completas, siendo sólo porciones de hojas de maíz con síntomas de TFC. También son usadas escalas de evaluación en planta entera, como las generadas por Fullerton (1982) o Agrocerec (1996), las cuales no presentan exactitud para trabajos específicos de desarrollo e investigación.

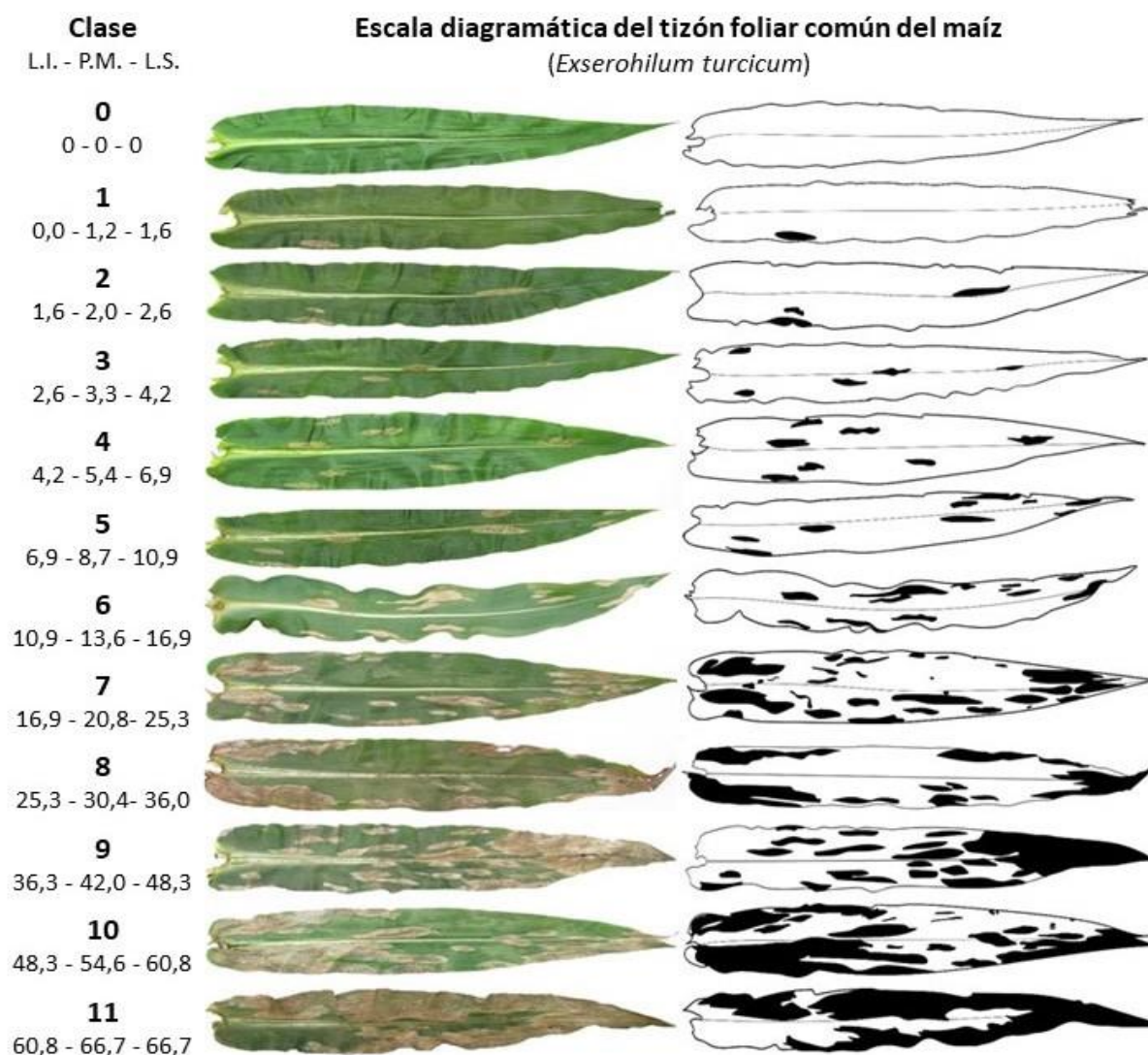


Figura 1. Escala diagramática de imagen de hoja completa a color y esquemática para la estimación visual de la severidad del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), se detalla en cada clase el límite de severidad inferior (L.I.), el punto de severidad medio (P.M.) y el límite de severidad superior (L.S.).

Vieira *et al.* (2014) generaron una escala diagramática de hoja completa, en blanco y negro, pero la escala fue seleccionada arbitrariamente, y los niveles que presentan no ayudan a la toma de decisión, ya que presenta pocos ejemplos entre los valores 0,5 y 5 % de severidad. Recientemente, Price *et al.* (2016) presentaron una escala de imágenes fotográficas de hoja completa, pero la misma se realizó con una escala arbitraria, con valores cada 4 % de diferencia de severidad, sin un argumento o explicación, al mismo tiempo, no

hay diferencias entre los valores menores a 4 %. La importancia en diferenciar valores menores al 5 % reside en trabajos que indican que la toma de decisión de aplicación de fungicidas para el manejo del TFC, se debería realizar entre 0,5 y 3 % de severidad (Carmona *et al.*, 2014; Carpane *et al.*, 2019, Camera *et al.*, 2019), Esto es coincidente con los resultados descriptos en el Capítulo II de la presente Tesis Doctoral.

Las escalas diagramáticas son comúnmente utilizadas como herramientas de ayuda para evaluaciones en trabajos de diferentes áreas de la fitopatología, pero muchas de ellas seleccionan arbitrariamente el intervalo entre las diversas clases que se emplean para categorizar diferentes grados de intensidad de una enfermedad (Osada Velázquez & Mora Aguilera, 1997). Una opción para disminuir estas fuentes de error, es el uso de escalas logarítmicas diagramáticas basadas en el principio de Weber-Fechner, que permiten establecer clases basadas en un sistema logarítmico que elude la asignación arbitraria de clases o categorías de enfermedad. Por otra parte, las escalas contemplan la representación fotográfica para cada nivel de severidad (Campbell y Madden, 1990; Jaraba *et al.*, 1999), por lo cual son prácticas y de fácil uso. No todos los sistemas de medición con base en escalas diagramáticas son logarítmicos, pudiendo ser aproximadamente lineales (Van Schoonhoven & Pastor, 1987) o totalmente arbitrarias (Shokes *et al.*, 1987; Cassanello *et al.*, 1989; Hock *et al.*, 1992). Aunque no existe consenso de que un sistema de medición basado en intervalos de niveles logarítmicos supere o mejore a aquéllos basados en intervalos no logarítmicos (lineales o arbitrarios), existen evidencias experimentales, que naturalmente las evaluaciones visuales son de alguna manera logarítmica (Large, 1966; Sherwood *et al.*, 1983). La escala propuesta se generó teniendo en cuenta la necesidad de asignar un intervalo de clases objetiva, con el sistema logarítmico, siguiendo el principio de Weber-Fechner, donde cada clase represente la severidad media, con un diagrama en blanco y negro, y otro fotográfico. La escala seleccionada presenta 12 clases, generada con el programa DOSLOG, utilizando el valor máximo de severidad registrado (66,7 %) y detalla para cada nivel de la escala el punto medio de severidad (P.M.), el límite inferior de severidad (L.I.) y el límite superior de severidad (L.S.) (**Tabla 1**).

Tabla 1. Límite inferior (L.I.), punto medio (P.M.) y límite superior (L.S.) para cada clase de severidad foliar del tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) obtenidos con el programa DOSLOG.

Clase	L.I.	P.M.	L.S.
0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	1,2	1,6
2	1,6	2,0	2,6
3	2,6	3,3	4,2
4	4,2	5,4	6,9
5	6,9	8,7	10,9
6	10,9	13,6	16,9
7	16,9	20,8	25,3
8	25,3	30,4	36,0
9	36,0	42,0	48,3
10	48,3	54,6	60,8
11	60,8	66,7	-

Siempre es crítico definir el nivel de severidad máxima esperada en la generación de escalas diagramáticas, porque las hojas generalmente se necrosan y terminan muriendo mucho antes de alcanzar el 100 % de área foliar con síntomas de enfermedad. Por ejemplo, en otros patosistemas como *Phakopsora pachyrhizi* - soja (Godoy *et al.*, 2006) y *Phakopsora euvitise* - vid (Angelotti *et al.*, 2008), severidades máximas próximas al 90 % no fueron encontradas a nivel de campo. Las escalas diagramáticas para algunas enfermedades de maíz, presentan niveles de severidad máximos, por ejemplo, para mancha blanca del maíz (*Pantoea ananatis*) del 64 % (Capucho *et al.*, 2010), para el tizón “sureño” (*Bipolaris maydis*) (James, 1971), mancha gris de la hoja (*Cercospora zea-maydis*) (Smith, 1989), y mancha ocular (*Kabatiella zaeae*) (Camochena *et al.*, 2014) del 50 %; para el complejo de mancha blanca (*Pantoea ananatis* - *Phaeosphaeria maydis*), del 39,7 % (Malagui *et al.*, 2011). Para el TFC, Pataky (1992) y Fullerton (1982) definieron una severidad máxima de 90 %, Viera *et al.* (2014) de 96 % y Lazaroto *et al.* (2012), de 54 %. El límite superior de 67 %, seleccionado para la escala de TFC presentada en este trabajo, se consideró apropiado porque es un valor que comúnmente se registra a campo en materiales susceptibles y porque severidades mayores generan rápidamente la muerte de la hoja completa.

Muchas de las escalas disponibles son diagramas de los síntomas, pero carecen de representaciones fotográficas de la severidad asignada a las diversas clases (Fullerton, 1982; Pataky, 1992; Godoy *et al.*, 1997; Barbosa *et al.*, 2006; Godoy *et al.*, 2006, Cristiane-Delmadi *et al.*, 2018). En estos casos, la interpretación de los síntomas puede ser confusa, además,

los diagramas pueden presentar distintas formas o porciones de hojas, e inclusive deformaciones como puede ocurrir cuando se generan coalescencia de lesiones.

La escala generada responde a los principios de Campbell & Madden (1990), quienes consideran que el número de clases no debe ser demasiado pequeño (inferior a tres), porque tendría poca resolución, ni demasiado alto (superior a veinte), porque es más difícil decidir cuál es el nivel más apropiado. Tovar Soto *et al.* (2002) proponen que cinco a siete clases podrían ser adecuadas para la caracterización temporal de epidemias; otras escalas logarítmicas diagramáticas oscilan entre cinco y ocho clases (Godoy *et al.*, 1997; Noronha, 2002; Spósito *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2004; Nascimento *et al.*, 2005; Barbosa *et al.*, 2006; Godoy *et al.*, 2006; Michereff *et al.*, 2006a; 2006b; Galvao *et al.*, 2008; Michereff *et al.*, 2009; Conforto *et al.*, 2009; Viera *et al.*, 2014). La escala generada presenta 12 clases de severidad, y aun cuando puedan parecer demasiadas, permite cumplir con los objetivos planteados y sirven como base para el desarrollo del software de entrenamiento.

Con la utilización de escala propuesta se mejoró la precisión de los evaluadores con y sin experiencia, los valores de R^2 sin uso de la escala oscilaron entre 0,44 y 0,93, con un promedio 0,75, y con el uso de la escala, entre 0,83 y 0,98, y un promedio de 0,92. Según estos valores la escala propuesta es precisa, ya que el R^2 fue igual o superior a 0,83 en todos los casos cuando los evaluadores utilizaron la escala, coincidiendo con lo obtenido por distintos autores (Spósito *et al.*, 2004; Nascimento *et al.*, 2005; Godoy *et al.*, 2006; Michereff *et al.*, 2006b; Michereff *et al.*, 2009). La mayor precisión a través del uso de escalas ha sido ampliamente comprobada por numerosos autores (Tovar Soto *et al.*, 2002; Gomes *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2004; Barbosa *et al.*, 2006; Michereff *et al.*, 2006a; Galvao *et al.*, 2008). Del análisis de los evaluadores se observó que de aquellos sin experiencia (de B a J), sólo el evaluador G, no fue exacto sin o con escala, ya que en ambos casos los valores de ordenada al origen de la recta de regresión ("a") fue estadísticamente diferente de 0 ($p < 0,05$). En el caso del evaluador con experiencia (A) el coeficiente del valor de "a" estimado no difirió significativamente de 0, lo que indica ausencia de desvíos constantes, tanto con o sin uso de la escala. Por otro lado, todos los evaluadores sin la escala mostraron tendencia a sobreestimar, resultados que coinciden con Barbosa *et al.* (2006), Godoy *et al.* (2006), Michereff *et al.* (2006a) y Vivas *et al.* (2010). Cuando utilizaron la escala, la tendencia se mantuvo en todos los casos, pero disminuyó la sobrestimación, coincidiendo con la experiencia de Godoy *et al.* (2006) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Coeficientes estimados para la ordenada al origen (a) y para la pendiente (b), coeficientes de determinación (R^2) de las regresiones lineales de datos de severidad real (variable independiente) y estimada por observación visual de un observador humano (variable dependiente) del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), según evaluadores sin experiencia (B a J) y con experiencia (A), sin y con utilización de la escala diagramática.

Evaluador	-----Sin escala-----			-----Con escala-----		
	a	b	R^2	a	b	R^2
A	1,08	1,07	0,93	1,04	0,21	0,98
B	1,12	0,03	0,83	0,78	0,63	0,89
C	0,90	0,91	0,76	0,75	0,66	0,83
D	0,81	3,19	0,44	0,95	0,27	0,96
E	0,98	1,74	0,82	0,88	0,64	0,94
F	1,06	0,44	0,81	0,75	1,36	0,94
G	0,54	*	0,51	0,79	*	0,85
H	0,86	1,06	0,81	1,04	0,46	0,86
I	0,94	0,16	0,75	1,00	0,21	0,96
J	1,08	0,62	0,79	0,96	0,54	0,95

*Hipótesis nula ($H_0: a=0$ y $b=1$) fue rechazada por el test t ($p \leq 0,05$).

Los valores de la pendiente de la recta de regresión estimados " b ", en uno de los nuevos evaluadores sin experiencia, presentaron valores diferentes de 1 ($p < 0,05$) cuando no utilizó la escala, lo que indica la presencia de desvíos sistemáticos, lo que no ocurrió en el evaluador con experiencia. Cuando las evaluaciones se realizaron con la escala propuesta tanto por los evaluadores sin experiencia como por el evaluador con experiencia, los valores de estimados de " b " no fueron significativamente diferentes de 1 ($p < 0,05$) lo que indica la reducción de los errores sistemáticos en las estimaciones de severidad foliar del TFC del maíz (Tabla 2).

La distribución de los estimadores de los errores absolutos (residuos), de las diferencias entre los valores estimados visualmente y la severidad instrumental (determinada por el programa tpsDig2), en los diez evaluadores, con y sin uso de la escala, mostraron una dispersión de puntos al azar próxima de la línea de predicción, lo que según Campbell & Madden (1990) indica un ajuste adecuado para el modelo utilizado. Sin el uso de la escala, los valores de los residuos variaron de -46,4 y 38,4; y con el uso de la escala, los residuos presentaron menor variación, entre -16,6 y 18,1 (Figuras 2 y 3).

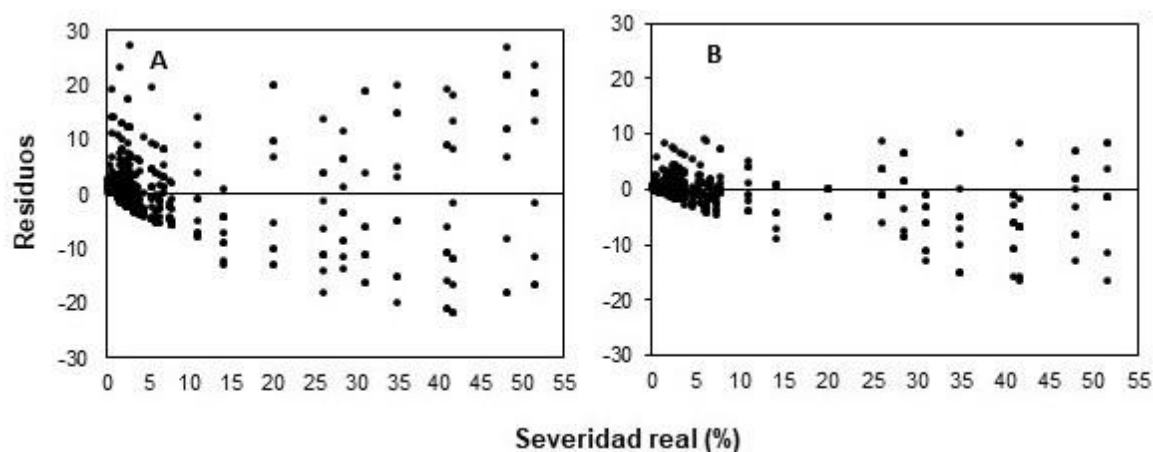


Figura 2. Residuos (severidad estimada - severidad real) de las estimaciones de la severidad de tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) realizadas sin escala (A) o con escala (B).

El uso de la escala diagramática propuesta redujo la estimación de los errores absolutos (residuos) y con su utilización, el 96,8 % de los valores se concentraron en la faja entre -10 y 10, considerados aceptables según criterios de otros programas de entrenamiento para la cuantificación de enfermedades (Tomerlin & Howell, 1988; Nutter & Worawitlikit, 1989). La reducción en los residuos, es mayor en los evaluadores sin experiencia (B a J), con respecto a la reducción en el evaluador con experiencia (A) (**Figuras 3 y 4**), muestra la importancia del entrenamiento previo para mejorar la precisión y exactitud de las evaluaciones. Esto coincide con lo expresado por Tovar Soto *et al.*, (2002) y Téliz-Ortiz *et al.*, (2003).

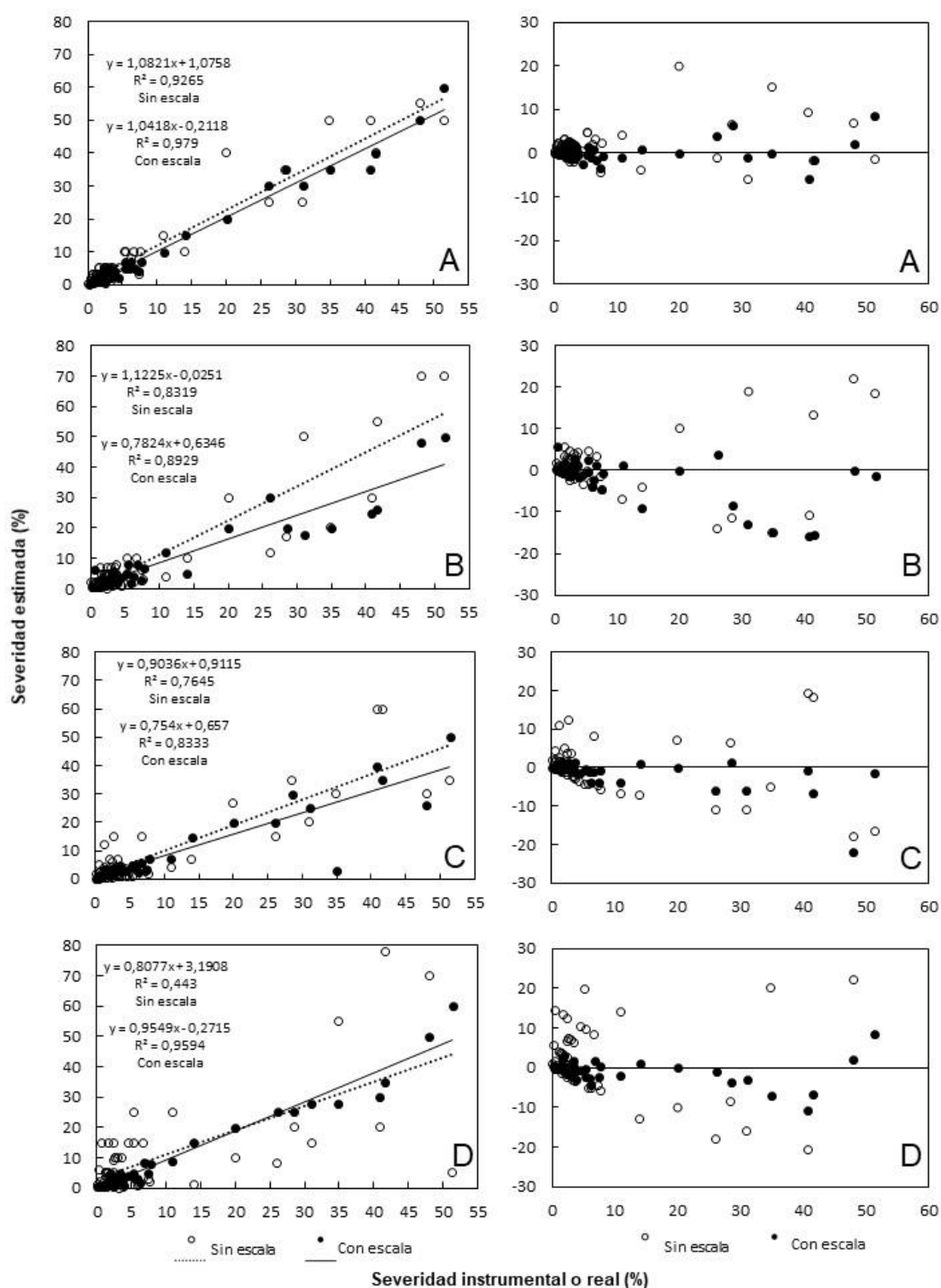


Figura 3. Relación entre la severidad estimada visualmente por los observadores humanos y la severidad real o instrumental (izq.) y residuos (severidad predicha - severidad observada) (der.) por diez evaluadores (A - J) sin y con ayuda de la escala diagramática. Línea punteada: severidad estimada sin ayuda de la escala. Línea continua: severidad estimada con ayuda de la escala. Puntos vacíos: obtenidos sin ayuda de la escala. Puntos llenos: obtenidos con ayuda de la misma.

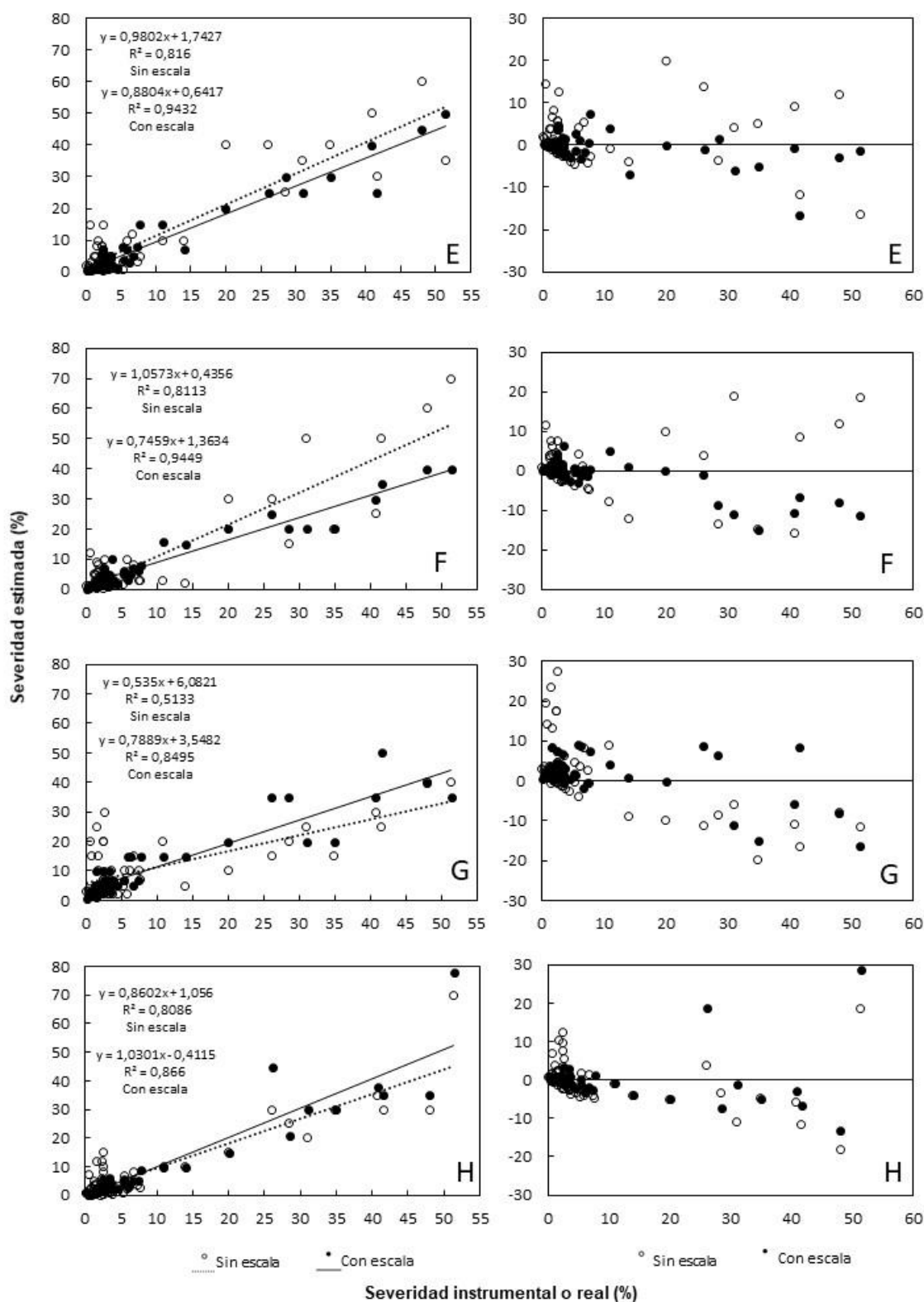


Figura 3 (continuación). Relación entre la severidad estimada visualmente por los observadores humanos y la severidad real o instrumental (izq.) y residuos (severidad predicha - severidad observada) (der.) por diez evaluadores (A - J) sin y con ayuda de la escala diagramática. Línea punteada: severidad estimada sin ayuda de la escala. Línea continua: severidad estimada con ayuda de la escala. Puntos vacíos: obtenidos sin ayuda de la escala. Puntos llenos: obtenidos con ayuda de la misma.

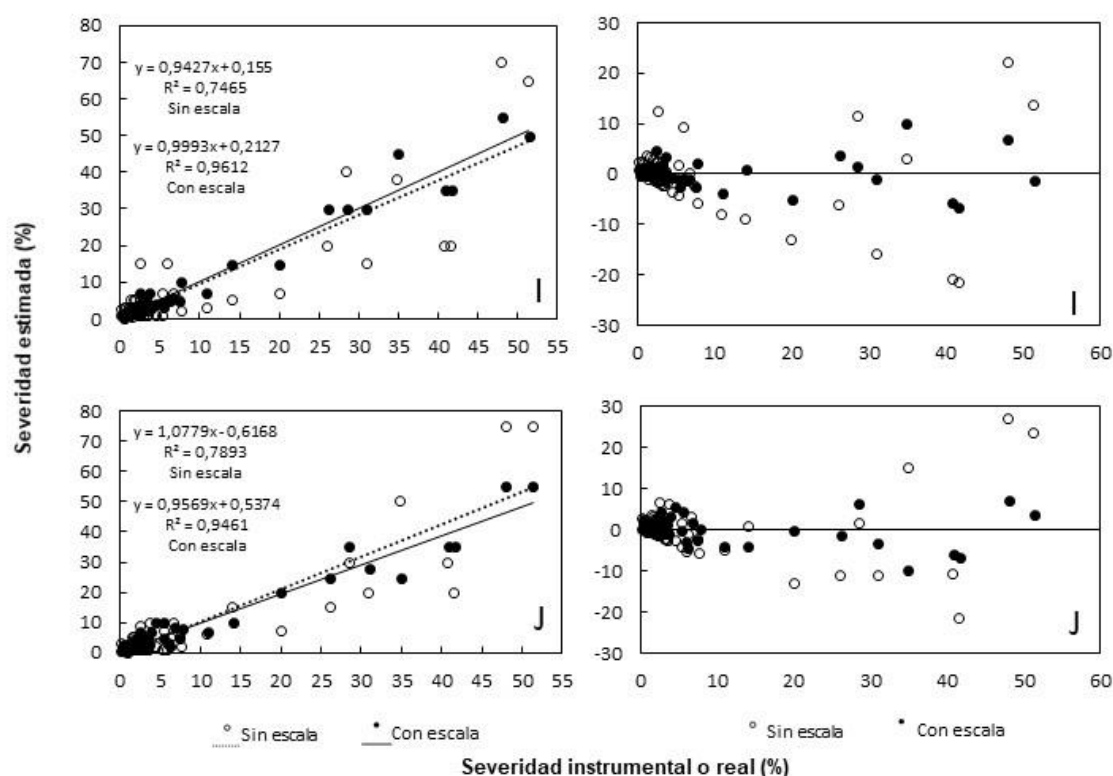


Figura 3 (continuación). Relación entre la severidad estimada visualmente por los observadores humanos y la severidad real o instrumental (izq.) y residuos (severidad predicha - severidad observada) (der.) por diez evaluadores (A - J) sin y con ayuda de la escala diagramática. Línea punteada: severidad estimada sin ayuda de la escala. Línea continua: severidad estimada con ayuda de la escala. Puntos vacíos: obtenidos sin ayuda de la escala. Puntos llenos: obtenidos con ayuda de la misma.

Los valores de coeficiente de determinación (R^2) obtenidos de las regresiones lineales entre las estimaciones realizadas por los diferentes evaluadores (con y sin experiencia) combinados de a pares fueron obtenidos para probar la reproducibilidad de la escala. Sin la utilización de la escala, el R^2 promedio de las determinaciones cruzadas entre todos los evaluadores fue 60 y con la escala el R^2 promedio, aumentó a 87. Por otro lado, con el uso de la escala, el 100 % de las correlaciones cruzadas entre los evaluadores dieron valores elevados (superiores a 70 %), lo que confirmó la reproducibilidad de las evaluaciones con uso de la escala logarítmica diagramática desarrollada. Sin el uso de la escala, sólo el 26,6 % de las estimaciones había superado el 70 % (**Tabla 3**). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Nascimento *et al.* (2005), Barbosa *et al.* (2006) y Michereff *et al.* (2006a y 2006b).

Tabla 3. Coeficientes de determinación (R^2) de la ecuación de regresión lineal simple de la severidad estimada de tizón foliar común (*Exserohilum turcicum*) por diez evaluadores, combinados de a pares, sin y con el uso de la escala diagramática.

Sin escala											
Con escala	Evaluadores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	A	-	0,72	0,77	0,48	0,87	0,70	0,48	0,74	0,71	0,75
	B	0,92	-	0,59	0,40	0,66	0,92	0,54	0,68	0,67	0,73
	C	0,83	0,76	-	0,45	0,68	0,57	0,43	0,62	0,45	0,46
	D	0,97	0,94	0,83	-	0,40	0,34	0,26	0,24	0,33	0,34
	E	0,94	0,90	0,81	0,93	-	0,72	0,56	0,65	0,62	0,63
	F	0,93	0,91	0,84	0,93	0,91	-	0,58	0,74	0,68	0,68
	G	0,83	0,76	0,78	0,78	0,78	0,87	-	0,55	0,51	0,51
	H	0,89	0,87	0,81	0,90	0,85	0,84	0,71	-	0,70	0,75
	I	0,96	0,88	0,71	0,94	0,92	0,89	0,79	0,83	-	0,92
	J	0,96	0,93	0,83	0,96	0,92	0,90	0,79	0,83	0,92	-

Bergamin Filho & Amorim (1996) establecen que, aun cuando las escalas diagramáticas se desarrollan para estandarizar las evaluaciones y eliminar la subjetividad, existen muchos problemas asociados a su uso; por ello es importante estar atento a los detalles que pueden interferir en la precisión y exactitud de las evaluaciones.

Uno de ellos, se refiere al tamaño de las hojas, ya que normalmente las escalas utilizan hojas que alcanzaron el pleno desarrollo, pero muchas enfermedades ocurren en diferentes estados de desarrollo de las hojas. El tamaño promedio de las 250 hojas utilizadas en este trabajo fue de 81,1 cm de largo x 8,4 cm ancho (**Tabla 4**), información de relevancia para estimar las severidades en concordancia con el tamaño de las hojas. Por ello, al desarrollar una escala con fotografías de hojas verdaderas, además de generar el software de entrenamiento con un número elevado de hojas, disminuye el error que puede introducir el tamaño de la hoja, y se puede evaluar cada caso relacionándolo al tamaño real de la hoja, diferenciándose de las escalas que presentan solo “porciones” o parte de hojas.

Tabla 4. Características morfométricas de 250 hojas de maíz seleccionadas para cuantificar la severidad causada por el tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Medida	Promedio (cm)	Min. (cm)	Max. (cm)	D.E.	C.V.
Largo	81,1	66,5	91,0	4,6	5,7
Ancho	8,4	5,0	10,1	0,9	11,1

Min. = mínimo; Max. = máximo; D.E.= desvío estándar; C.V.= coeficiente de variación

En las 250 hojas evaluadas se pudo individualizar y contar un total de 1193 lesiones; y para hallar un indicador de severidad, se estudió la relación entre los posibles tamaños de lesiones (ancho y largo) en mm y la severidad foliar real que representa una severidad igual a 1 %. Así, se encontró que en 1 % de severidad había diferentes números de lesiones con distintas combinaciones de tamaños (**Tabla 5**). Estos números de lesiones sirven como indicadores, pero es necesario considerar el tamaño de la hoja.

Tabla 5. Número, ancho y largo (mm) de lesiones, que representan una severidad foliar de 1 %, causada por el tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*), en hojas de un tamaño promedio de 81,1 por 8,4 cm.

Lesiones (n°)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Severidad (%) real
1	15	50	1
1	10	60	1
2	10	30	1
3	5	20	1

El coeficiente de determinación (R^2) entre el número de lesiones y la severidad real de las 250 hojas evaluadas fue muy bajo (0,223), interpretándose que el número de lesiones ($n^\circ L$) o manchas, no es una variable patométrica relevante en la cuantificación de la severidad del TFC del maíz (**Figura 4**).

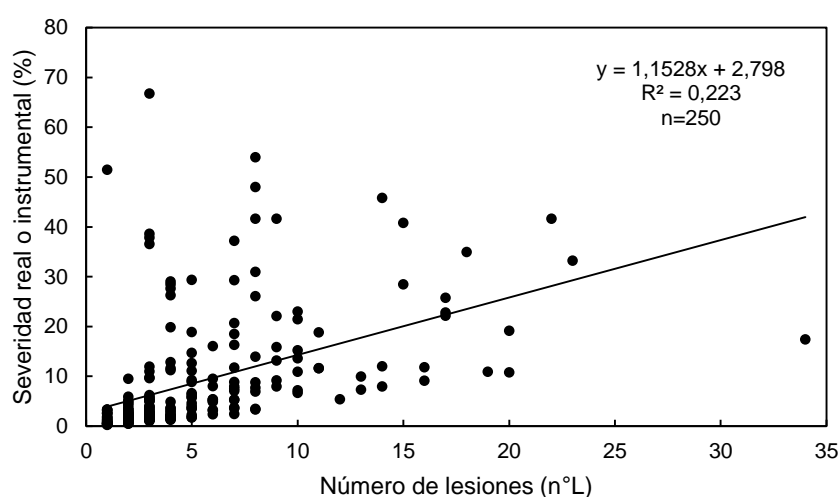


Figura 4. Regresión entre la severidad real o instrumental (%) y el número de lesiones o manchas ($n^\circ L$) por hoja en las 250 hojas evaluadas con síntomas del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Cuando se seleccionan valores hasta 8 % de severidad y menos de 8 lesiones por hoja ($n = 160$), se observó que el coeficiente de determinación (R^2) entre la severidad real (%) y el número de lesiones aumentó levemente hasta 0,3791. Esto puede explicar porque el n°L es utilizado en Argentina como una forma de cuantificación de la severidad del TFC. Aun entendiendo que es más fácil de obtener y más objetiva, no sería recomendable para trabajos específicos de fitopatometría, ya que muestra alta variabilidad y heterogeneidad, siendo al mismo tiempo poco clara e imprecisa. Pero al mismo tiempo, determinar el tamaño de las lesiones, si es una variable a tener en cuenta siendo que puede ser de ayuda para realizar la estimación de la severidad (**Figura 5**).

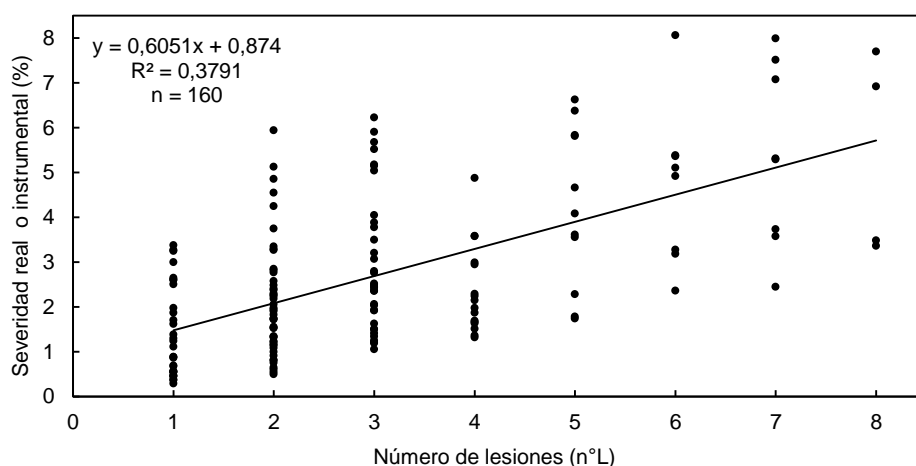


Figura 5. Regresión entre la severidad real o instrumental (%) y el número de lesiones (n°L) por hoja del tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) en las hojas con hasta 8 % de severidad y menos de 8 lesiones.

3.2 Software de entrenamiento para estimación de severidad

Con la información usada para generar la escala diagramática se desarrolló un software de entrenamiento de estimación de severidad foliar del TFC del maíz, junto a la empresa Intruder Agro. Para acceder al software se debe enviar un mail a laboratorio.fitopatologia@ucc.edu.ar, donde se creará un nuevo usuario, se proveerá de un nombre y clave de usuario. Luego se deberá ingresar con esos datos al sitio: <http://intruder.com.ar/app/fitopatometro/loginForm.aspx>. El software permitirá gestionar las imágenes que se muestran para la estimación visual, según el perfil de cada usuario: i) evaluador y ii) administrador. El perfil evaluador sólo puede visualizar las imágenes, aunque tiene la posibilidad de cambiar el orden en el que aparecen las imágenes, solo haciendo un clic, y el perfil administrador, habilitará a realizar diferentes gestiones como: ver, descargar,

editar y/o eliminar una fotografía. Una vez seleccionada la imagen a evaluar, el software permite ingresar el valor estimado visualmente (observado), compararlo con el real y ver la diferencia (**Figura 6**).

El software cuenta con solapas con distinta información: i) Inicio, explica la finalidad del programa y como se desarrolló, ii) Instructivo, donde se explica como proceder y se tiene acceso a la escala diagramática de hoja completa del TFC del maíz iii) Imágenes, muestra las imágenes que pueden ser estudiadas, iv) Evaluación, reproduce el programa y acá, el evaluador estimará la severidad y contrastará su estimación con el valor de la severidad real, v) Resultados, verifica la performance del evaluador y se ve un informe final de lo realizado como práctica, y vi) Usuarios, registra a los usuarios que han utilizado el programa. El software permite estimar diferentes niveles de severidad (de 0 a 67 %) del TFC, en 250 imágenes de hojas completas de maíz de manera aleatorizada. Al finalizar la práctica, se pueden visualizar inmediatamente los resultados, para realizar ajustes necesarios con el fin de mejorar la precisión y exactitud de las estimaciones. El software estará disponible para cualquier persona que quiera perfeccionarse en la estimación de la severidad del TFC del maíz y podría servir para entrenarse para evaluar otras enfermedades similares. Podrá ser utilizado como los programas Disease Pro (Nutter & Worawitlikit, 1989) y Distrain (Tomerlin & Howell, 1988) para entrenamientos generales de estimación visual de severidad. Además, el presente software está preparado para incorporar otras enfermedades foliares de maíz, y en un futuro próximo, enfermedades de otros patosistemas.

Figura 6. Imagen de la pantalla del software durante el proceso de estimación visual de la severidad de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*) presente en la hoja visualizada en el programa.

Inicio Fotos Evaluación Resultados Usuarios		Salir
		
Nº 8 Descripción: Imagen sin descripción		
Estimación del porcentaje del área afectada		
valor observado	15	ok
valor real	17,4%	
diferencia	2,4%	
inicio	prev	prox fin

3.3 Validación

Los resultados presentados como validación de este programa de entrenamientos son sólo demostrativos, ya que se espera que con mayor tiempo de “práctica” utilizando el software, se lograrán obtener resultados más exactos y precisos. Los 18 evaluadores sin experiencia, así como los 2 evaluadores con experiencia en la evaluación de enfermedades, mejoraron los coeficientes de determinación (R^2) luego de sólo 10 minutos de práctica con el software. El coeficiente de determinación (R^2) de los evaluadores sin experiencia aumentó de 0,67 promedio a 0,91, lo que representó un 0,24 de mejora en las estimaciones. Los evaluadores con experiencia previa, también mejoraron sus coeficientes en un 0,03 promedio, demostrando que la práctica mejorara las evaluaciones de las personas entrenadas (**Tabla 6**).

Tabla 6. Coeficientes de determinación (R^2) entre valores de severidad reales y estimados de 20 evaluadores que validaron el uso del software de entrenamiento de estimación visual de la severidad de tizón foliar común del maíz (*Exserohilum turcicum*).

Evaluador	Coeficiente de determinación (R^2) entre valor real y estimado		
	Sin entrenamiento	Con entrenamiento	Diferencia
Alumno 1	0,82	0,86	0,04
Alumno 2	0,78	0,99	0,21
Alumno 3	0,79	0,92	0,13
Alumno 4	0,79	0,83	0,04
Alumno 5	0,46	0,50	0,04
Alumno 6	0,75	0,95	0,20
Alumno 7	0,74	0,86	0,12
Alumno 8	0,40	0,96	0,56
Alumno 9	0,87	0,98	0,11
Alumno 10	0,58	0,98	0,40
Alumno 11	0,52	0,98	0,46
Alumno 12	0,68	0,96	0,28
Alumno 13	0,66	0,98	0,32
Alumno 14	0,82	0,98	0,16
Alumno 15	0,72	0,89	0,17
Alumno 16	0,84	0,98	0,14
Alumno 17	0,15	0,86	0,71
Alumno 18	0,70	0,93	0,23
Promedio	0,67	0,91	0,24
Fitopatólogo 1	0,93	0,97	0,04
Fitopatólogo 2	0,95	0,98	0,03
Promedio	0,94	0,97	0,03

4. CONCLUSIONES

La escala diagramática del TFC de hoja completa con intervalos logarítmicos, y el software de estimación de severidad generados, permiten realizar estudios fitopatométricos con mayor precisión, exactitud y reproducibilidad.

El número de lesiones no es una variable patométrica de valor en la cuantificación de la severidad registrada por el TFC, en cambio, determinar el tamaño de las mismas puede servir de ayuda para la estimación de la severidad.

Los resultados obtenidos, constituyen importantes herramientas para cuantificar la enfermedad y tomar decisiones en el manejo del patosistema *Exserohilum turcicum* - *Zea mays*.

5. BIBLIOGRAFÍA - Capítulo V

- Agrocere. 1996. Guia Agrocere de sanidade. São Paulo: Sementes Agrocere, pp. 72.
- Angelotti, F.; Scapin, C.R.; Tessmann, D.J.; Vida, J.B.; Oliveira, R.R. & Canteri, M.G. 2008. Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. Trop. Plant Pathol. 33: 439-443.
- Bailey, B.A.; Schuh, W.; Frederiksen, R.A.; Bockholt, A.J. & Smith, J.D. 1987. Identification of slow-rusting resistance to *Puccinia polysora* in maíz inbreds and single crosses. Plant Dis. 71: 518-521.
- Barbosa, M. A. G.; Michereff, S. J. & Mora-Aguilera, G. 2006. Elaboracao e validacao de escala diagramática para evalliaccao da severidade da ferrugem branca do crisantemo. Summa Phytopatologica 32(1): 57-62.
- Bergamin Filho, A. & Amorim, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. Piracicaba. Agronômica Ceres, pp. 299.
- Berger, R.D. 1980. Measuring disease intensity. En: Teng, P.S.; Krupa, S.V. (Eds.). Crop loss assessment. St. Paul. University of Minnesota, pp. 28-31.
- Bleicher, J. 1988. Níveis de resistência a *Helminthosporium turcicum* Pass. em três ciclos de seleção em milho pipoca (*Zea mays* L.). Tese de Doutorado, ESALQ, SP, Brasil. Piracicaba, pp. 130.
- Burleigh, J.R.; Eversmeyer, M.G. & Roelfs, A.P. 1972a. Development of linear equations for predicting wheat leaf rust. Phytopathology 62: 947-953.

- Burleigh, J.R.; Roelfs, A.P. & Eversmeyer, M.G. 1972b. Estimating damage to wheat caused by *Puccinia recondite tritici*. *Phytopathology* 62: 944-946.
- Camera, J.N.; Koefender, J.; Golle, D.P.; Bortolotto, R.P.; Horn, R.C.; Flores, E.F. & Deuner, C.C. 2019. Esporulação in vitro e inoculação de *Exserohilum turcicum* em milho. *Summa Phytopathologica* 45(3): 308-312.
- Carmona M.A.; Viotti G. & F. Sautua. 2014. Tizón del maíz: cuantificación de daño y propuesta de umbral. *Actas 3º Congreso Argentino de Fitopatología*, pp. 260.
- Carpane, P. D.; Peper, A.M. & Kohn, F. 2019. Management of northern corn leaf blight using Nativo (trifloxistrobin + epoxiconazole) fungicide applications. *Crop Protection*. JCRP 104982. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104982>.
- Camochena, R.C.; dos Santos, I. & Mazaro, S.M. 1998 Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha ocular em milho causada por *Kabatiella zae*. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38(8): 2124-2131 ISSN 0103-8478.
- Campbell, C.L. & Madden, L.V. 1990. Monitoring epidemics: disease. In: *Introduction to plant disease epidemiology*. New York, John Wiley & Sons (Eds), pp. 108-128.
- Capucho, A.S.; Zambolim, L.; Duarte, H.S.S.; Parreira, D.F.; Ferreira, P.A.; Lanza, F.E.; Costa, R.V.; Casela, C.R. & Cota, L.V. 2010. Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. *Crop Prot.* 29: 1015-1020.
- Carson, M.L. & Van Dyre, C.G. 1994. Effect of light and temperature on expression of partial resistance of maize to *Exserohilum turcicum*. *Plant Dis.* 78(5): 519-522.
- Cassanello, M.E.; Franco, J. & Mendoza, R. 1989. Escalas visuales para la evaluación de enfermedades en frutilla y coliflor. *Fitopatología* 24: 58-64.
- Castaño Zapata, J. 2002. *Principios básicos de Fitoepidemiología*. Manizales: Universidad de Caldas, Centro Editorial, pp. 398. ISBN: 958-8041-49-X.
- Crenna, C.; Giovanini, D.; Ferrari, S.; Cassano, C.; Gerardo, U.; Giuggia, J.; Pellizzari, M.; Osella, A. & Oddino, C. 2012. Desarrollo y validación de una escala para evaluar el daño por arañuela roja (*Tetranychus urticae*) en el cultivo de maní. https://inta.gob.ar/sites/default/files/desarrollo_y_validacion_de_una_escala_para_evaluar_el_dano_por_aranuela_roja_tetranychus_urticae_en_el_cultivo_de_mani.pdf. Acceso: 21/08/2018.

- Cristiane-Delmadi L., Cristiane de Pieri, Sander-Porcena A & Luiz-Furtado E. 2018. Diagramatic scale for quantification of rust severity in take leaves. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(2): 331-341. DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1708-5.
- Di Rienzo, J.A.; Balzarini, M.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2010. InfoStat, software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fullerton, R.A. 1982. Assessment of leaf damage caused by northern leaf blight in maize. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 10(3): 313-316. DOI:10.1080/03015521.1982.10427890.
- Galvao, A.S.; Gondim, M. G. C. & Michereff, S. J. 2008. Escala diagramática de dano de *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eryophidae) en coqueiro. *Neotropical Entomology* 37(6): 723-728.
- Godoy, C.V.; Carneiro, S.; Iamauti, M. T.; Pria, M. D.; Amorim, L.; Berger, R. D. & Bergamin Filho, A. 1997. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation. *Journal of Plant Diseases and Protection* 104(4): 336-345.
- Godoy, C. V.; Koga, L. J.; & Canteri, M. C. 2006. Diagrammatic scale for assessment of of soybean rust severity. *Fitopatol. bras.* 31(1): 63-68.
- Gomes, A.M.A.; Michereff, S. J. & Mariano, R. L. R. 2004. Elaboração e validação de escala diagramática para a cercosporiose da alface. *Summa Phytopathologica* 30: 38-42.
- Guerra, G.D & De Rossi, R. 2010. Panorama sanitario del cultivo de maíz en la región centro norte de Córdoba, Jornada de Actualización Técnica de Cultivos de Verano, CREA, Campaña 2009/2010, pp. 34-36.
- Hock, J.; Kranz, J. & Renfro B. L. 1992. Test of standart digrams for field use in assesing the tarspot disease complex of maize (*Zea mays*). *Tropical Pest Management* 38: 314-318.
- Horsfall, J.G. & Barratt, W.R. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. *Phytopathology* 35: 655 (Abstract).
- James, W.C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant disease, their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Surv.* 51: 39-65.
- James, W.C. & Teng, P.S. 1979. The quantification of production constraints associated with plant diseases. In *Applied biology* (Vol. IV). T.H. Coakley, (Ed.) Academic Press, New York, pp. 201-267.

- James, W.C. 1971. A Manual of Assessment Keys of Plant Diseases. Canada Department of Agricultural Publications, Ottawa, Canada.
- Jaraba, N.J.; Aguilar, R.G.; Gutiérrez, A. H.; Chavarin, P.J. & Mora-Aguilera, G. 1999. Elaboración y validación de una escala diagramatizada para la roya blanca del crisantemo (*Puccinia horiana* Henn) en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev). Memorias X Congreso Latinoamericano de Fitopatología. Guadalajara, Jal., México. Resumen, pp. 292
- Kranz, J. 1988. Measuring plant disease. Pp: 35-50. In: Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Kranz J & Rotem J. (eds.). Springer-Verlag. Heidelberg: Germany. 299p.
- Large, E. C. 1966. Measuring Plant Disease. Annual Review of Phytopathology 4: 9-28.
- Lazaroto, A., Santos, I., Konflanz, V. A., Malagi, G. & Camochena, R. C. 2012. Diagramatic scale for severity evaluation of common helminthosporium in corn. Ciencia Rural, Santa Maria, 42(12): 2131-2137. ISSN 0103-8478
- Luke, H.H., Barnett, R.D. & Pfhaler, P.L. 1986. Development of *Septoria nodorum* blotch on wheat from infected and treated seed. Plant Dis. 70: 252-254.
- March, G.J.; Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. Córdoba: INTA-UNRC, pp. 193. ISBN: 978-987-05-9063-7
- Martins, M. C.; Guerzoni, R. A.; Cámara, G. M. de S.; Mattiazzi, P.; Lourenco, S. A. & Amorim, L. 2004. Escala diagramática para a quantificacao do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. Fitopatol. bras. 29(2): 179-184.
- Michereff, S.J.; Andrade, D.E.G.T. & Noronha, M. A. 2006a. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidades do carvão da folha do caupi. Summa Phytopathologica 32(1): 51-56.
- Michereff, S.J.; Noronha, M.A.; Andrade, D.E.G.T.; Oliveira, E.P.; Xavier Filha, M.S. & Moreira, P. A. A. 2006b. Elaboração e validação de escala diagramática para a cercosporiose do pimentão. Summa Phytopathologica 32(3): 260-266.
- Michereff, S.J.; Noronha, M.A.; Lima, G.S.A.; Albert, I.C.L. & Melo, E.A. 2009. Diagrammatic scale to assess downy mildew severity in melon. Horticultura Brasileira 27(1): 76-79.

- Nascimento, R.P.; Micherreff, S.J.; Mariano, R. de L.R. & Gomes, A.M.A. 2005. Elaboracao e validacao de escala diagramática para cancro bacteriano da videira. *Summa Phytopahtologica* 31(1): 59-64.
- Nilsson, H.E. 1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17: 154-166.
- Noronha, M. A. 2002. Escala diagramática para avaliacao da mancha preta em folhas de citros e efeito da temperatura e da duracao do molhamento na pré-penetracao de conidios de *Guignardia citricarpa* Kiely [*Phyllosticta citricarpa* (McAlp.) Van der Aa]. Tesis para obtencao do titulo de Mestre em Agronomia, Area de concentracao: Fitopatología. Piracicaba. Sao Paulo-Brasil, pp. 67.
- Nutter Jr.; F. W. & Schultz, P. M. 1995. Improving the accuracy and precision of disease assessment: Selection of methods and use of computer-aided training programs. *Can. J. Plant Pathol.* 17: 174-178.
- Nutter Jr., F. W. & Worawitlikit, O. 1989. Disease Pro: a computer program for evaluating and improving a person ability to assess disease proportion. *Phytopatology* 79: 1135 (Abstract).
- Nutter Jr., F.W.; Esker, P.D. & Coelho Netto, R.A. 2006. Disease assessment concepts and the advancements made in improving the accuracy and precision of plant disease data. *European Journal of Plant Pathology* 115: 95-103. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z>
- Osada Velázquez, H. K. & Mora Aguilera, G. 1997. DOSLOG versión 1.0. Un sistema logarítmico computarizado para la elaboración de escalas y diagramas de intensidad de enfermedad. Manual del usuario. Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Texcoco, México.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. *Phytopathology*. 82: 370-375.
- Price, T.; Purvis, M. & Pruitt, H. 2016. A quantitative disease severity rating scale for northern corn leaf blight. *Plant Health Prog.* 17: 49-50. DOI:10.1094/PHP-RS-16-0010
- Rohlf, F.J. 2004. tpsDig2, digitize landmarks and outlines, version 2.0. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.

- Sherwood, R.T.; Berg, C. C.; Hoover, M. R. & Zeider, K. E. 1983. Illusions in visual assessment of Stangonospora leaf spot of orchardgrass. *Phytopathology* 73: 173-177.
- Shokes, F. M.; Berger R. D.; Smith, D. H. & Rasp, J. M. 1987. Reliability of disease assessment procedures. A case study with late leafspot of peanut. *Oléagineux* 42: 245-251.
- Smith, K.I. 1989. Epidemiology of Gray Leaf Spot of Field Corn Caused by *Cercospora zeae-maydis*. University of Maryland. PhD thesis.
- Spósito, M. B.; Amorim, L.; Belasque Junior, J.; Bassanezi, R. B. & Aquino, R. de. 2004. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidade da mancha preta em frutos cítricos. *Fitopatol. Bras.* 29(1): 81-85.
- Téliz-Ortiz, D.; Mora-Aguilera, G. & Ávila-Quezada, G. 2003. Logarithmic systems for measuring of anthracnose and scab in avocado fruits. *Proceedings V World Avocado Congress, Mexico*, pp. 585-589.
- Tomerlin, J.R. & Howell, T.A. 1988. DISTRAIN: a computer program for training people to estimate disease severity on cereal leaves. *Plant Dis.* 72(5): 455-459.
- Tovar Soto, A.; Hernández Martínez, M.; Cristóbal Alejo, J.; Romero (h), R. & Mora Aguilera, G. 2002. Escala logarítmica diagramática de severidad de la mancha negra (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 20(001): 103-109.
- Van Schoonhoven, A. & Pastor-Corrales, M. A. 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. Publicación especial. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia, pp. 56.
- Viera, R.A.; Mesquini, R.M.; Silva, C.N.; Hata, F.T.; Tessmann, D.J. & Scapim, C.A. 2014. A new diagrammatic scale for the assessment of northern corn leaf blight. *Crop Protection* 56: 55-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.018>
- Vivas, M.; Pessanha da Silva Terra, C. E.; Da Silveira, S. F.; Venturim Fontes, R. & Gonzaga Pereira, M. 2010. Escala diagramática para avaliação da severidade da pinta-preta em frutos de mamoeiro. *Summa Phytopathologica* 36(2): 161-163.

APORTES EPIDEMIOLÓGICOS PARA LA GENERACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANEJO DEL TIZÓN FOLIAR COMÚN DEL MAÍZ

DISCUSIÓN GENERAL

El tizón foliar común del maíz (TFC) causado por el hongo *E. turcicum* (*Et*), se tornó en los últimos años en una de las enfermedades foliares más importantes del cultivo de maíz (*Zea mays*) de la Argentina, especialmente en regiones con condiciones ambientales predisponentes. Según Couretot *et al.* (2010), en el norte de Buenos Aires, el TFC es una enfermedad de alta prevalencia, con incidencia y severidad crecientes en los últimos años y Formento (2010), en Entre Ríos, en siembras tardías o de segunda registró desde 1996/97 la aparición epifítica esporádica del TFC. En el centro norte de la provincia de Córdoba, según Guerra & De Rossi (2010), el TFC del maíz es la enfermedad de mayor prevalencia, presentándose todas las campañas productivas desde la campaña 2007-08, desarrollando severidades variables de acuerdo a la reacción de los materiales. Según Ferraguti (2014), si bien el potencial de rendimiento de maíz es menor en fechas tardías, comparado con el de siembras de primera, la seguridad de obtener rendimientos aceptables con siembras tardías y de segunda es mayor, a menor riesgo climático. Sin embargo, la mayor presión de plagas y enfermedades hace que al momento de la elección de híbridos sea necesario contemplar simultáneamente, además del potencial de rendimiento, que posean eventos para insectos y un comportamiento fitosanitario adecuado, especialmente en lo que respecta a roya común y TFC.

El CREA Región Norte de Córdoba y la Bolsa de Cereales de Córdoba (2019), registran en el centro norte de Córdoba aproximadamente 650 mil hectáreas de maíz en todas las campañas. Desde el ciclo agrícola 2006-07 en adelante, entre el 80 y el 90 % de las mismas, se realiza en fechas de siembras tardías (principalmente entre el 15 de diciembre y el 15 de enero). En un gran número de establecimientos de la región es el principal cultivo, por lo que su inclusión en las rotaciones normalmente supera el 50 %, lo que hace común hallar lotes de maíz sembrados sobre rastrojo de maíz (monocultivo). Además, se debe considerar que el cultivo se realiza en sistema de siembra directa, con pocos materiales seleccionados genéticamente para la región, escaso uso de fertilización y baja adopción de monitoreo del cultivo. Es así que en la región centro norte de Córdoba, la presencia de rastrojo continuo de maíz dados por la siembra directa y el monocultivo de maíz, junto a la adopción de fechas de siembras de manera tardía, tienen un fuerte impacto como estrategias de manejo en el desarrollo del TFC. El tizón foliar común del maíz, causado por *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, presenta epidemias en el centro norte de Córdoba que pueden medirse y modelizarse, como también utilizarse para caracterizar el comportamiento de

híbridos y generar escalas diagramáticas; constituyendo todas ellas, herramientas fundamentales para diseñar estrategias de manejo integrado y eficiente para este patosistema. Así se plantearon como objetivos de este trabajo: i) generar una base de datos y caracterizar la ocurrencia, distribución e importancia del tizón foliar común del maíz en el centro norte de Córdoba, ii) cuantificar los daños y determinar umbrales de daño económico para el patosistema, iii) estudiar la variación de la severidad del TFC en relación con condiciones ambientales registradas a nivel de sitio, iv) evaluar temporalmente epidemias del TFC en híbridos de diferente reacción y v) generar y validar una escala diagramática de hoja completa y un software para la estimación de la severidad foliar causada por el TFC del maíz.

Para ello, información de diez años de trabajos realizados sobre la sanidad del cultivo de maíz por el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Católica, fue recabada, organizada y acomodada en una base de datos que sirvió para realizar diferentes enfoques epidemiológicos. La información acomodada en la base de datos permitió caracterizar la presencia, distribución e importancia del TFC en el centro norte de Córdoba. De esta manera se determinó que de las diez campañas estudiadas entre el período 2007-08 y 2016-17, en cinco de ellas (2007-08, 2009-10, 2010-11, 2013-14 y 2014-15) se registraron altas severidades finales de esta enfermedad (≥ 10 % en diferentes localidades), con casos donde se superó el 50 % de área foliar afectada por este patógeno. Severidades entre 5 y 95 % se registraron un total de 38 ensayos, que representan el 45 % de los casos totales estudiados ($n = 86$), lo que permitió estudiar este patosistema bajo condiciones de una representativa intensidad de enfermedad.

Analizando las variables agronómicas que mejor explican el desarrollo del TFC del maíz, se observó con significancia estadísticamente significativa que la variable Genética (reacción de los híbridos frente al TFC) aportó el 58,8 % de la variabilidad registrada, siguiendo en importancia la variable Fechas de Siembra (FS) la cual aportó el 7,5 % y la variable Fenómeno ENSO que aportó el 1,6 % de la variabilidad. Estos resultados concuerdan con la afirmación de muchos autores que indican que el método más económico y seguro para el manejo de enfermedades es el uso de cultivares resistentes (Sharma *et al.*, 2005; Cia & Fuzatto, 1999; Pereira *et al.*, 1985), siempre y cuando haya disponibilidad. En promedio de los diez años evaluados las regiones próximas a las localidades de Villa María y Villa María de Río Seco fueron las que registraron mayores valores de severidad en la región centro norte de Córdoba. Según Teyssandier (2005), un análisis preciso de la ocurrencia de epidemias en el cultivo de maíz puede contribuir a definir estrategias de los programas de mejoramiento genético y en la adopción de las técnicas de manejo.

Según Reis (1989), uno de los primeros trabajos de investigación que deben ser efectuados en cualquier patosistema, es la cuantificación de los daños causados por un patógeno en el cultivo. El conocimiento real de los daños causados por una enfermedad es

fundamental en la determinación de prioridades. Es así que, a través de la realización de ensayos a campo, se registraron daños promedios que oscilaron entre 3,2 y 15,1 % de disminución de producción, siendo los daños máximos registrados entre 20,1 y 52,5 %. Expresados en kg ha⁻¹ los mismos fueron en promedio de 600,1 y en los casos de mayor severidad fueron de 3369,7 kg ha⁻¹. Disminuciones en el rendimiento entre 15 y 30 % fueron registradas en Sud África (Crampton, 2015), entre 33 y 62 % en las zonas húmedas y entre 4 y 35% en las zonas secas de Tanzania (Nwanosike *et al.*, 2015), entre 10 y 30 % en Alemania (Zellner, 2012) y de 2,5 % en Estados Unidos y Ontario (Canadá) (Wise, 2013, 2014). En la Argentina, Guerra & De Rossi (2010) relataron que en híbridos susceptibles de maíz los daños llegaron hasta el 40 % en el rendimiento de los granos en las campañas 2007/08 y 2009/10. Couretot *et al.* (2014) determinaron pérdidas en la producción de maíz por el TFC entre el 20 y el 46 % de rendimiento durante las campañas 2011/12 y 2012/12.

Con combinaciones de manejo (híbrido x fungicida x dosis x momento de aplicación) se lograron generar importantes gradientes de enfermedad con diferencias estadísticamente significas ($p < 0,05$). Generando una función de daño promedio, ajustada a una tonelada de producción, de todos los ensayos de $Y = 1000 - 20,15 S$ ($R^2 = 0,52$; $p = 0,001$). La misma explica que por cada punto de severidad de TFC, registrado en las hojas de mayor importancia del cultivo de maíz (he, he+1 y he-1), se pierden 20,15 kg por cada 1000 kg de producción. Al separar los ensayos por el comportamiento sanitario de los materiales probados, se generó la función de daño ajustada una tonelada de producción, de $Y = 1000 - 15,21 S$ ($R^2 = 0,52$; $p = 0,0002$) en los materiales susceptibles (S); y la función $Y = 1000 - 23,88 S$ ($R^2 = 0,51$; $p = 0,002$) en los materiales moderadamente susceptibles (MS). Esto quiere decir que se registraron 15,21 kg ha⁻¹ de disminución de rendimiento por cada punto de severidad de TFC en los materiales S y de 23,88 kg ha⁻¹ en los materiales MS.

A través de los coeficientes de daños generados, se determinó que el umbral de daño económico (UDE) promedio fue de 1,09 y el umbral de acción (UDA) promedio fue de 0,88. Según Carmona (2014), los UDE y UDA no son fijos ni rígidos, éstos son variables dependiendo de las variaciones de los factores que lo originan (rendimiento potencial, precio del maíz, precio de la aplicación, eficiencia de control). Esta variabilidad es la que les otorga a los umbrales su utilidad y beneficio, debido a que, frente a variaciones de cada año, lote o precios, es posible obtener un umbral que se corresponda con esa variación. En este sentido, los umbrales generados en este trabajo, resumen gran cantidad de variables, años y experiencias, que a nuestro entender sirven como base para el entendimiento del patosistema TFC - maíz y considerar estos valores como referencias en función de la propia experiencia y de los componentes epidemiológicos de la enfermedad. Al analizar los resultados obtenidos en la determinación de los umbrales, el UDE alcanzado fue 1,09 severidad, promedio de las hojas de mayor importancia, siendo de 0,88 el valor correspondiente para el UDA. En forma

práctica, los valores de UDA constituyen la máxima cantidad de enfermedad tolerable económicamente antes de proceder a la aplicación de fungicidas. Estos valores pueden ser considerados como bajos para generar recomendación de aplicación química a campo, pero dado las características de la epidemia, daños y pérdidas que puede causar el TFC del maíz, probablemente sean adecuados para manejarla.

Con respecto específicamente al patosistema estudiado en este trabajo, en la literatura consultada, sólo se hallaron dos umbrales propuestos. El primero, generado por Carmona *et al.* (2014), en base a un experimento de gradientes de enfermedad generado con aplicaciones de fungicidas, propusieron un umbral económico de acción (UDA) del TFC de una mancha promedio por hoja (he , $he+1$ y $he-1$) de hasta 1 cm de largo. Esta metodología de medir por cm y no por severidad o número de lesiones, es una forma para disminuir los errores que pueden llevarse a cabo en la toma de decisión por la forma de crecimiento del TFC en las hojas afectadas. A conclusiones similares se arribó en el Capítulo V de la presente Tesis Doctoral, donde se corrobora que el TFC no es una enfermedad que pueda ser medida sólo por el número de lesiones que ocasiona. A diferencia del trabajo de Carmona *et al.* (2014) donde se propone un UDA por la realización de un ensayo, los UDE y UDA propuestos en el presente trabajo se basan en promedios de 16 ensayos, lo que hace que los resultados sean más robustos y tengan mayor representatividad. El segundo trabajo encontrado en la literatura donde se propone un umbral para el TFC es el presentado por Camera *et al.* (2019), donde se trabaja con un UDE de 0,62 lesiones de TFC promedio en las hojas de mayor importancia. Este trabajo, no explica cómo se generó el mismo, ni con qué información, sólo aclara que se usó una función ajustada a una tonelada de $Y = 1000 - 27,41$. La misma, es similar a las generadas en nuestro trabajo, con la diferencia que Camera *et al.* (2019) proponen basarse según el número de lesiones, y en nuestro trabajo proponemos hacerlo por la severidad visual estimada.

En ensayos de macro parcelas realizados comparando materiales de diferente reacción frente al TFC, las pérdidas económicas registradas fueron en promedio de 67,2 USD ha^{-1} en los diez años evaluados, este valor aumenta significativamente a 377,4 USD ha^{-1} cuando se seleccionan sólo los casos con los mayores daños registrados por el TFC. Al mismo tiempo, en ensayos de micro parcelas realizados en materiales moderadamente susceptibles y susceptibles, se registraron pérdidas económicas promedio de 184,9 USD ha^{-1} , generadas por el desarrollo de TFC del maíz en los 16 ensayos realizados en este trabajo. El mínimo registro de pérdidas fue de 122,0 USD ha^{-1} y el máximo de 352,9 USD ha^{-1} , las mismas representaron en promedio 19,1 % [12,8 - 37,0] de dinero no logrado a causa del TFC. Los daños y pérdidas determinados en nuestro trabajo sobre el patosistema TFC y maíz, representan el potencial impacto de esta enfermedad para la economía de Argentina, y denota

la importancia que esta enfermedad puede significar en años donde se desarrollen epidemias del TFC del maíz.

Frente a la demanda actual de una agricultura más racional y menos agresiva con el medio ambiente, Barreto *et al.* (2004) explican que existe una tendencia a aumentar la importancia de sistemas que orienten a los agricultores al reconocimiento de las enfermedades importantes y a su monitoreo sistemático. Es por ello, que, a través de la información generada en la base de datos de sanidad de maíz, se diseñó un modelo predictivo del desarrollo del TFC del maíz, que permite correlacionar condiciones ambientales con la severidad del TFC del maíz. Este modelo es funcional para todos los híbridos y se verifica en cada uno de los distintos perfiles sanitarios. Para ello, previamente se modelizó la relación entre el logaritmo natural de la severidad registrada del TFC del maíz en el estado fenológico R4 y diferentes variables ambientales de paso horario, interpoladas para cada sitio de ensayo donde se registró esta enfermedad.

Se halló un patrón de relación consistente en una relación directa con las horas acumuladas de humedad relativa (HR%) mayor a 80 % en días previos a la evaluación de severidad a campo y una relación inversa con las horas acumuladas de HR% menor a 40 %. Este patrón se repitió, en diferente cuantía, en todos los perfiles de sanidad (reacciones S, MS, R y MR), al igual que para cada híbrido en particular. La variable que mayor asociación presentó con el inicio del desarrollo de la enfermedad es la acumulación de horas de mojado foliar (HMF), luego de ello, la otra variable de importancia es la temperatura registrada mayor a 18 °C. Esta determinación de variables y su importancia en el desarrollo de la epidemia de TFC, son similares con los hallazgos realizados por Molitor *et al.* (2016), donde presentan este mismo patrón, pero en el cultivo de vid (*Vitis vinífera*) con respecto al patógeno *Botrytis*.

Según Munkvold & White (2016) las condiciones para el desarrollo de TFC son principalmente períodos prolongados de mojado foliar diario (>10 h) y temperaturas moderadas (17 - 28 °C), estos parámetros coinciden con los resultados de nuestro trabajo. Coakley (1988) sugiere que se necesitan entre 8 a 12 años de observaciones de enfermedad para identificar con certeza los factores ambientales asociados al desarrollo de enfermedades. En nuestro trabajo, coincidentemente con lo descrito por este autor, se utilizaron observaciones de 10 campañas agrícolas. De todas las combinaciones de variables estudiadas, la que mejor explicó el desarrollo del TFC en las condiciones y sitios estudiados fue: $\text{LnSev(Genética)} = \sum \text{Ec}(20\text{d}) = \sum ((\geq 8\text{HMF}) (T > 18^\circ\text{C y } < 27^\circ\text{C})) (20\text{d})$. Los resultados obtenidos con el modelado realizado permiten predecir la severidad que se desarrollará con 30 días de antelación ($R^2 = 0,30 - 0,85$). Cuando se agrupan los híbridos por perfil sanitario observamos un amplio rango de correlación (entre $R^2 = 0,30$ y $0,75$) para los distintos perfiles. Es de notar que estas correlaciones son más importantes cuando se toma cada híbrido en particular (entre $R^2 = 0,40$ y $0,85$). En híbridos susceptibles se registraron relaciones de alta

correlación y en híbridos resistentes se registran, pero en menor magnitud. Es así que se logra una herramienta útil para el productor, al poder indicar con antelación cuándo una enfermedad podría o no superar un determinado umbral de daño económico (Cambpell & Madden, 1990).

Según Bombelli *et al.* (2012), los modelos predictivos deben basarse en factores de riesgo que predispongan cultivos a epidemias de enfermedades. Estos modelos consideran factores de riesgo del ambiente que predisponen al desarrollo de la enfermedad e incorporan información respecto a la influencia de prácticas productivas tales como: rotación de cultivos, prácticas de la labranza, fechas de siembra y grado de susceptibilidad de cultivares. Con el modelado se procura generar herramientas de manejo integrado de enfermedades que ayuden en la toma de decisiones; por consiguiente, se trata de herramientas que contribuyen a prevenir el desarrollo excesivo de una enfermedad. La predicción del potencial avance de la enfermedad días o semanas antes de que ocurra un aumento en la severidad, permite a los agricultores poder responder en tiempo y forma, es decir de manera eficiente, ajustando las estrategias en el manejo de cultivos (Maloy, 1993). Consideramos que realizamos el primer modelo de enfermedades trabajando con datos intensivos climáticos horarios, ya que no encontramos en la literatura consultada trabajos con este nivel de detalle en cuanto a tratamiento de datos. Estas interacciones registradas, permitieron a su vez, estudiar diferentes variables ambientales que dieron lugar a la generación de un sistema de previsión del desarrollo del TFC, y también permitieron generar conocimiento específico del progreso de la enfermedad, comparando materiales de diferente susceptibilidad, y de esta manera determinar estrategias de manejo que pueden ser utilizadas para cada tipo de material.

El análisis temporal de las enfermedades proporciona información cuantitativa que permite comprender el porqué de las epidemias, compararlas en distintos patosistemas, desarrollar sistemas de pronóstico, elaborar mapas de riesgo y generar estrategias para su manejo (March *et al.*, 2012). La curva de progreso de enfermedad, también denominada como gráfico de una epidemia (Kranz, 1974), representa todas las interacciones que ocurren entre el patógeno y el hospedantes bajo la influencia del ambiente (Teng & Zadoks, 1980). Así, al comparar epidemias del TFC en seis distintas localidades de la región centro norte de Córdoba y en materiales con distinta reacción frente a la enfermedad, se determinó que las localidades de Ballesteros y Villa María fueron donde se registraron los mayores porcentajes de SF en materiales S, siendo de 45 % y 37,5 % respectivamente. En Jesús María, Río Segundo y Freyre los niveles de SF registrados fueron bajos (<5 %), y en la localidad de El Tío fueron muy bajos (<1 %). Así mismo, en las localidades de Ballesteros y Villa María, se registraron las mayores ABCPE, siendo de 2150,1 y de 1335,7 respectivamente. En las demás localidades los valores de ABCPE fueron siempre menores a 320, siendo que en todos los casos se registraron diferencias estadísticamente significativas. El progreso de las epidemias

de TFC en las seis localidades determinó, en mayor o menor magnitud, curvas de formato sigmoideal, típicas de enfermedades policíclicas.

En el estudio de modelos epidemiológicos se observó que los dos modelos probados, Logístico y Gompertz, presentaron un ajuste altamente significativo a las curvas de progreso del TFC de los genotipos estudiados, con valores superiores al 80 %. El modelo epidemiológico de Gompertz fue el que presentó mejor ajuste en promedio general, a los datos para los cuatro grupos de genotipos estudiados, con una tasa de determinación (R^2) de 0,909 y con una tasa de determinación ajustada (R^{2*}) de 0,849. El modelo de Gompertz es muy apropiado para describir epidemias en las cuales la tasa máxima de enfermedad ocurre más temprano que la tasa logística (Achicanoy López, 2000). Estos resultados coinciden con el trabajo realizado por Odinno *et al.* (2010), quienes determinaron sobre un material susceptible sembrado en Olaeta, Córdoba, que los modelos epidemiológicos de Gompertz y Logístico ajustaron de manera significativa con valores de R^2 superiores al 80 %. Así mismo, determinaron que el modelo de mejor ajuste para las cuatro curvas de progreso de la enfermedad que generaron con la utilización de fungicidas fue el modelo de Gompertz. Los modelos de Gompertz y Logístico son señalados como los más adecuados para estudiar curvas de tipo sigmoideal por muchos autores (Campbell & Madden, 1990; March *et al.*, 2012, Bergamin Filho & Amorim, 1996; Achicanoy López, 2000). Según March *et al.* (2010) y Jeger (2004) las variables epidemiológicas que identifican y caracterizan cada epidemia, son el motor generador de principios y conocimientos fundamentales, que conducen a la solución de problemas fitosanitarios en los cultivos. Pero los autores afirman, que no basta los conocimientos sobre epidemiología para generar tácticas y estrategias de manejo, sino que es preciso acompañarlos con el conocimiento del patosistema y del agroecosistema, y con la participación de técnicos y productores.

Según Kranz (1988), la cuantificación de la intensidad de una enfermedad es tan importante para la fitopatología como su correcto diagnóstico. Sin cuantificar una enfermedad, ningún estudio en epidemiología o sus aplicaciones, sería posible. En la búsqueda de proporcionar herramientas que ayuden a minimizar los errores en las evaluaciones de esta enfermedad, se generó una escala diagramática de hoja completa para la estimación visual de la severidad del TFC del maíz con un amplio rango de severidades (de 0 a 66,7 %). Las escalas diagramáticas son comúnmente utilizadas como herramientas de ayuda para evaluaciones en trabajos de diferentes áreas de la fitopatología. A pesar de ello, muchas de las mismas son arbitrarias en cuanto al intervalo seleccionado entre las diversas clases (Fullerton, 1982; Pataky, 1992; Agrocere, 1996), que usualmente se emplean para categorizar diferentes grados de intensidad de una enfermedad.

La escala diagramática de 12 clases de severidad de TFC generada en este trabajo se presenta en dos versiones: i) con imágenes de hojas reales completas y ii) con el diagrama

de las mismas hojas completas en blanco y negro. En la validación, el uso de la escala propuesta mejoró la precisión para ambas categorías de evaluadores (con y sin experiencia). Los valores de R^2 sin uso de la escala oscilaron entre 0,44 y 0,93, promedio 0,75, mientras que con el uso de la escala los mismos presentaron mayor precisión y menor variación quedando entre valores de 0,83 y 0,98, con promedio de 0,92. La escala generada cumple con lo expresado por Campbell & Madden (1990), quienes consideran que el número de clases o nivel no debe ser demasiado pequeño (inferior a tres), debido a que tendría poco poder en la resolución, ni demasiado alto (superior a veinte), ya que es difícil decidir cuál es el apropiado. Otros autores, como Tovar Soto *et al.* (2002) proponen que cinco a siete clases podrían ser adecuadas para la caracterización temporal de epidemias. Muchas escalas logarítmicas diagramáticas oscilan entre cinco y ocho clases (Gomes *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2004; Barbosa *et al.*, 2006; Michereff *et al.*, 2006a; Michereff *et al.*, 2006b; Michereff *et al.*, 2009; Viera *et al.*, 2014). El uso de la escala diagramática propuesta redujo los errores absolutos (residuos). Con la utilización de la misma el 96,8% de los valores se concentraron en la faja entre -10 y 10, valores considerados aceptables según criterios adoptados en programas usados en entrenamiento de cuantificación de enfermedades (Nutter & Worawitlikit, 1989; Tomerlin & Howell, 1988).

Utilizando la información generada para realizar la escala diagramática, se desarrolló un software de entrenamiento de estimación de severidad foliar del TFC del maíz. El mismo permite practicar la estimación de 250 imágenes de hojas enteras de maíz que presentan diferentes niveles de severidad (de 0 a 67 %). Estas prácticas pueden ser realizadas por tiempo, por número de hojas que se seleccionen estimar y de manera aleatorizada. Al finalizar la práctica realizada, puede inmediatamente visualizarse los resultados obtenidos para poder realizar los ajustes necesarios con el fin de mejorar la precisión y exactitud de la estimación de la severidad foliar del TFC del maíz. El software estará disponible para cualquier persona que quiera perfeccionarse en la estimación de la severidad del TFC del maíz, el mismo junto a la escala diagramática, constituyen importantes herramientas para la cuantificación del daño de la enfermedad y para la ayuda en la toma de decisiones de manejo de este patosistema. Este software, al mismo tiempo, sirve de entrenamiento para otras enfermedades similares, así como se han usado hasta la actualidad, en las distintas cátedras de fitopatología de diversos países, a los programas Disease Pro (Nutter & Worawitlikit, 1989) y Distrain (Tomerlin & Howell, 1988) como programas de entrenamiento generales de estimación visual de severidad. Además, está pensado y desarrollado para incorporar otras enfermedades foliares de maíz, y en un futuro próximo enfermedades de otros patosistemas.

Es así, que los trabajos realizados en esta Tesis Doctoral aportan conocimientos de diversos aspectos epidemiológicos que ayudan a entender y a mejorar el manejo del tizón foliar común del maíz, procurando realizar más eficiente e integrado el sistema productivo. Al

mismo tiempo, los aportes tanto en información como en desarrollos tecnológicos de esta tesis, pretenden servir para futuros trabajos de construcción del conocimiento sobre este patosistema complejo y dinámico.

CONCLUSIONES GENERALES

El tizón foliar común del maíz es una enfermedad que se desarrolla todas las campañas agrícolas causando daños y pérdidas significativas en la producción del maíz de la región centro norte de Córdoba. En ensayos comparativos de híbridos se determinaron daños promedio de diez campañas agrícolas de 600 kg ha⁻¹ [310,8 - 1323,7] y pérdidas promedio de 67,2 USD ha⁻¹ [34,8 - 148,3] causados por el TFC. Se determinó un umbral de daño económico de 1,09 % [0,55 - 2,65] de severidad en las hojas de mayor importancia, siendo el umbral de acción generado de 0,88 % [0,44 - 2,12] de severidad, para materiales susceptibles y moderadamente susceptibles al TFC. Se registraron porcentajes de control superiores al 80 % y respuestas económicamente satisfactorias cuando se aplicó con severidades menores al 1,5 %. El modelo epidemiológico de Gompertz fue el que mejor se ajustó al desarrollo de las curvas de progreso del TFC. Fue posible pronosticar el desarrollo de la severidad del TFC a partir del modelado del registro del número de eventos conducentes (≥ 8 HMF, HMF = HR ≥ 80 %) registrados en los últimos 20 días. Se desarrolló un software que utiliza el modelo desarrollado, que genera un sistema de alerta al avisar al técnico o al productor cuando se registran condiciones ambientales que son conducentes para el TFC. Se desarrolló y validó por exactitud, precisión y reproducibilidad, una escala diagramática de hoja completa para la estimación de la severidad causada por el TFC. Se desarrolló un software de estimación visual de la severidad causada por el TFC. Se determinó que el número de lesiones no es una variable patométrica de valor en la cuantificación de la severidad registrada por el TFC, en cambio, determinar el tamaño de las mismas puede servir de ayuda para la estimación de la severidad. La metodología de registro y análisis de la información desarrollada y propuesta, sirve como base para el estudio de otras enfermedades y, a su vez, lo aprendido en cada una de las enfermedades potencia lo conocido en otros patosistemas. Los resultados de esta Tesis Doctoral, también son fruto de conformar equipos interdisciplinarios, para generar herramientas que ayuden a la toma de decisión tanto de productores, técnicos asesores y empresas del agro. La contribución desarrollada al conocimiento de la biología y epidemiología del TFC constituyen importantes herramientas para delinear técnicas y estrategias de manejo con un abordaje integral del agroecosistema.

LINEAS DE TRABAJO A FUTURO

Estudios epidemiológicos de otras enfermedades o en otros cultivos, aprovechando la base de datos y la metodología de registro desarrollada, así como otras técnicas de análisis de datos como multivariada y meta análisis.

Empleo de imágenes satelitales (por ej. índice NDVI), para orientar el sitio de determinación de la severidad dentro de un lote y ayudar al manejo de una enfermedad. De esta manera, el monitoreo no sólo podrá ser en el momento oportuno (según el modelo desarrollado), sino que, además, se podrá direccionar hacia los primeros focos de desarrollo de patógenos en el lote.

Registro de variables ambientales para diferenciar microclimas, a través de la utilización de sensores específicos diseñados, que registran cada 20 minutos, la humedad relativa y la temperatura a distintas alturas dentro del canopeo del cultivo de maíz. De esta manera, se podría corroborar la existencia de diferencias en el registro de humedad relativa a distintas alturas dentro del canopeo, lo que puede indicar que los modelos de desarrollo y predicción de tizón, podrán y deberán ser corregidos con información del microclima del cultivo.

Determinación de la concentración inhibitoria del 50 % (CI₅₀) de diferentes fungicidas foliares, ya que se probaron diferentes fungicidas para el control del TFC a campo y un nuevo paso sería realizar ensayos en laboratorio para determinar líneas base y potencia de diferentes ingredientes activos.

Identificación de las razas presentes de *Et* en Argentina, ya que se registraron diferentes comportamientos de maíces frente al TFC y se registraron diferentes sintomatologías, pero aún no se conocen en Argentina las razas presentes de este patógeno.

BIBLIOGRAFÍA - Discusiones y conclusiones generales

Achicanoy López, H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. Vol. 53, No.1, p.941-968.

Agrocere. 1996. Guia Agrocere de sanidade. 2 edições. 72p.

Barbosa, M. A. G.; Michereff, S. J.; Mora-Aguilera, G. 2006. Elaboracao e validacao de escala diagramática para evalliacao da severidade da ferrugem branca do crisantemo. Summa Phytopatologica 32: (1): 57-62

- Barreto, M.; Vale, R.F.X, Paul, P.A.; Scaloppi, E.A.G. & Andrade. Sistemas de previsao e estacoes de aviso. In: Vale, R. F.X; Cintra de Jesus, W; Zambolin, L. 2004 Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte. Editora Perffil. ISBN: 85-89800-02-4. 243-270 pp.
- BCCBA. 2019. Bolsa de Cereales de Córdoba. Departamento de información agronómica. Informes de final de producción. Maíz. http://www.bccba.com.ar/images_db/noticias_archivos/4414-Descargar%20Informe%20.pdf#viewer.action=download
- Bergamin Filho, A. & Amorim, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 289 p.
- Bombelli, E.C., Wright, E.R., Moschini, R.C., López M.V., Fabrizio, M.C., Barberis, J.G. & Rivera M.C. 2012. Modelado computacional de datos epidemiológicos para predecir enfermedades de cultivos con base meteorológica. 41JAIIO - SSI 2012 - ISSN: 1850-2830- Pág. 322-337.
- Camera, J.N.; Koefender, J.; Golle, D.P.; Bortolotto, R.P.; Horn, R.C.; Flores, E.F.& Deuner, C.C. 2019. Esporulação in vitro e inoculação de *Exserohilum turcicum* em milho. Summa Phytopathologica, v.45, n.3, p.308-312, 2019.
- Campbell, C. L. & Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York. John Wiley. 532 pp.
- Carmona, M.A. 2014. Enfermedades de fin de ciclo y mancha ojo de rana en el cultivo de soja: desarrollo y validación de un sistema de puntuación y determinación del umbral de control. Trabajo de tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Carmona, M.A.; Viotti G. & Sautua, F. 2014. Tizón del maíz: cuantificación de daño y propuesta de umbral. Actas 3º Congreso Argentino de Fitopatología. pp 260.
- Cia, E. & Fuzatto, M.G. 1999. Manejo de doenças na cultura do algodão. In: Cia, E.; Freire, E.C.; Santos, W.J. (Ed.) Cultura do algodoeiro. Piracicaba: Potafós, p. 121-131.
- Coakley, S.M. 1988. Variation in Climate and Prediction of Disease in Plants. Annual Review of Phytopathology, Vol. 26, p., 163-181. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.26.090188.001115>

- Couretot, L.; Ferraris, G.; Mousegne, F.; López de Sabando, M.; Magnone, G. & Rosanigo, H. 2010. Comportamiento sanitario de híbridos de maíz en la zona norte de la provincia de Buenos Aires. IX Congreso Nacional de Maíz. p.194-195. 17 al 19 de noviembre, Rosario. Argentina.
- Ferraguti, F. 2014. Maíz en fechas tardías: una alternativa que llegó para quedarse. Jornada de Maíz tardío. 20 de mayo de 2014. INTA-EEA Oliveros. 2p. <http://inta.gob.ar/documentos/maiz-en-fechas-tardias-una-alternativa-quellego-para-quedarse-1/>
- Fullerton, R.A. 1982. Assessment of leaf damage caused by northern leaf blight in maize. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, v.10, n.3, p.313-316. DOI:10.1080/03015521.1982.10427890.
- Gomes, A. M. A., Michereff, S. J. & Mariano, R. L. R. 2004. Elaboração e validação de escala diagramática para a cercosporiose da alface. Summa Phytopathologica 30: 38-42.
- Guerra, G.D. & De Rossi, R.L. 2010. Panorama Sanitario del cultivo de Maíz en la Región centro norte de Córdoba, Jornada de Actualización Técnica de Cultivos de Verano - CREA - Campaña 2009/2010, p. 34-36.
- IDIA. 1969. Inf. Invest. Agric. INTA, Buenos Aires. 222:26, 1966. In: FERNANDEZ VALIELA, M.V. Introducción a la fitopatología. Colección científica del INTA. Tomo VII, Vol. III, Hongos, 3ª Ed., p. 779, Buenos Aires, Argentina.
- Jeger, M.J. 2004. Analysis of disease progress as a basis for evaluating disease management practices. Annu. Rev. Phytopathol.42:61-82.
- Kranz, J. 1990. Epidemics of plant diseases: mathematical analysis and modeling. New York: Springer Verlag, 1990. v.2.
- Maloy, O.C. 1993. Plant Disease Control. New York: Wiley.
- March, G.J., Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2010. Manejo de enfermedades de los cultivos según parámetros epidemiológicos. Córdoba: INTA-UNRC, 193 p. ISBN: 978-987-05-9063-7
- March, G.J., Marinelli, A. & Oddino, C.M. 2012. Análisis del progreso de epidemias y pérdidas que causan. Manual Curso de Especialización en Protección Vegetal. Universidad Católica de Córdoba, p., 86.

- Martins, M. C.; Guerzoni, R. A.; Cámara, G. M. de S.; Mattiazzi, P.; Lourenco, S. A.; Amorim, L. 2004. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. *Fitopatol. bras.* 29(2): 179-184.
- Michereff, S. J.; Andrade, D. E. G. T.; Noronha, M. A. 2006a. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da severidades do carvão da folha do caupi. *Summa Phytopathologica* 32(1): 51-56.
- Michereff, S. J.; Noronha, M. A.; Andrade, D. E. G. T.; Oliveira, E. P.; Xavier Filha, M. S.; Moreira, P. A. A. 2006b. Elaboração e validação de escala diagramática para a cercosporiose do pimentão. *Summa Phytopathologica* 32(3): 260-266.
- Michereff, S. J.; Noronha, M. A.; Lima, G. S. A.; Albert, I. C. L. & Melo, E. A. 2009. Diagrammatic scale to assess downy mildew severity in melon. *Horticultura Brasileira* 27(1): 76-79.
- Molitor, D., Baus, O., Hoffmann, L. & Beyer, M. 2016. Meteorological conditions determine the thermal-temporal position of the annual *Botrytis* bunch rot epidemic on *Vitis vinifera* L. cv. Riesling grapes. *OENO One*, Vol. 50, N. 4, 231 - 244. doi: 10.20870/oenone.2016.50.4.36
- Munkvold, G.P. & White, D.G. 2016. Compendium of Corn Diseases (4th ed.), American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Nutter Jr., F. W. & Worawitlikit, O. 1989. Disease Pro: a computer program for evaluating and improving a person ability to assess disease proportion. *Phytopathology* 79: 1135 (Abstract).
- Nwanosike, M. R., Mabagala, R.B. & Kusolwa, P.M. 2015. Disease intensity and distribution of *Exserohilum turcicum* incitant of northern leaf blight of maize in Tanzania. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 3 (5), 1-13.
- Oddino, C.; Marinelli, A.; García, J.; Garcia, M.; Tarditi, L.; Ferrari, S.; D'Eramo, L. y March, G.J. 2010. Comparación del efecto de momentos de tratamientos fungicidas sobre enfermedades foliares del maíz a través de modelos epidemiológicos no flexibles. *Actas IX Congreso Nacional de Maíz*, Rosario, Argentina.
- Pataky, J.K. 1992. Relationships between yield of sweet corn and northern leaf blight caused by *Exserohilum turcicum*. *Phytopathology*. 82:370-375.

- Pereira, A.A.; Zambolim, L.; Chaves, G.M. 1985. Melhoramento visando a resistência a doenças. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.122, p.82-92.
- Reis, E.M. 1989. Metodología para la determinación de pérdidas causadas en trigo por *Gibberella zeae* (Schw) Petch. In: Kholi, M.M. Ed. 1989. Taller sobre la fusariosis de la espiga en América del Sur. México, D.F.: CIMMYT. ISBN: 968-6127-37-2.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J. & Benson, G.O. 1993. How a corn plant develops? Ames: Iowa State University of Science and Technology, p. 26. Special Report, 48.
- Sharma, R.C., Rai, S.N. & Batsa, B.K. 2005. Identifying resistance to banded leaf and sheath blight of maize. Indian Phytopathology, 58: 121-122.
- Teng, P.S. & Zadoks, J.C. (1980) Computer simulation of plant disease epidemics. In: McGraw-Hill Yearbook of Science and technology, p. 23-31.
- Teyssandier, E. 2005. Como predecir y controlar la ocurrencia de enfermedades limitantes de la producción de maíz. Conferencias. VIII Congreso Nacional de Maíz. p. 448- 450. 16-18 de noviembre, Rosario-Santa Fe.
- Tomerlin, J.R. & Howell, T.A. 1988. DISTRAIN: a computer program for training people to estimate disease severity on cereal leaves. Plant Dis. Vol. 72, N 5, pg. 455-459.
- Tovar Soto, A.; Hernández Martínez, M.; Cristóbal Alejo, J.; Romero (h), R.; Mora Aguilera, G. 2002. Escala logarítmica diagramática de severidad de la mancha negra (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) en chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología 20(001): 103-109.
- Viera, R.A.; Mesquini, R.M.; Silva, C.N.; Hata, F.T.; Tessmann, D.J. & Scapim, C.A. 2014. A new diagrammatic scale for the assessment of northern corn leaf blight. Crop Protection 56 (2014) 55-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2011.04.018>
- Wise, K. 2013. Diseases of corn: Corn disease loss estimates from the United States and Ontario, Canada - 2013. BP-96-13-W. Purdue University Extension, West Lafayette, IN.
- Wise, K. 2014. Diseases of corn: Corn disease loss estimates from the United States and Ontario, Canada - 2014. BP-96-14-W. Purdue University Extension, West Lafayette, IN.
- Zellner, M. 2012. Blattfleckenkrankheiten an Mais. Mais, March, pp. 123-125.

CURRICULUM VITAE (RESUMEN)

DATOS PERSONALES

Apellido y Nombre: **DE ROSSI, ROBERTO LUIS**
Nacionalidad: Argentino Provincia: Córdoba Ciudad: Córdoba
Fecha de Nacimiento: 26/08/1983
DNI: 30.469.121
E-mail: robderossi@gmail.com / roberto.derossi@ucc.edu.ar

FORMACIÓN ACADÉMICA

2011-2013 **Magister Scientiae** en Fitopatología, por la Facultad de Agronomía, de la Universidad de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasil.
2009-2011 **Especialista** en Protección Vegetal, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Católica de Córdoba.
2002-2007 **Ingeniero Agrónomo**, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

PUBLICACIONES

a) Publicaciones en revistas con referato

De Rossi, R.L.; Reis, E.M. & Brustolin, R. **2015.** Fungicide baseline for mycelial sensitivity of *Exserohilum turcicum* causal agent of northern corn leaf blight. Summa Phytopathologica. DOI: 10.1590/0100-5405/1931.

De Rossi, R.L.; Reis, E.M. & Brustolin, R. **2015.** Conidial morphology and pathogenicity of *Exserohilum turcicum* isolates of corn from Argentina and Brasil. Summa Phytopathologica. DOI: 10.1590/0100-5405/1948.

De Rossi, R.L. & Reis, E.M. 2014. Semi selective culture medium for *Exserohilum turcicum* isolation from corn seeds. Summa Phytopathologica. DOI:10.1590/0100-5405/1925.

b) Capítulos de libros

De Rossi, R. L.; Guerra, F. A.; Brucher, E.; Vuletic, E.; Plazas, M. C.; Palazzolo, A.; Luppi, G.; Guerra, G. D. **(en prensa).** Enfermedades foliares del maíz de mayor importancia en las últimas campañas. Tizón común, cercosporiosis y mancha blanca. Compendio II Congreso de Maíz Tardío. Ed. Borrás, L. & Uhart, S. Buenos Aires: Dow Agrosciences.

De Rossi, R. L. & Guerra, F.A. (en prensa). Panorama sanitario del centro norte de Córdoba. Enfermedades del cultivo de maíz - MAIZAR. Buenos Aires: MAIZAR.

De Rossi, R. L. & Guerra, F.A. (en prensa). Cercosporiosis. Enfermedades del cultivo de maíz - MAIZAR. Buenos Aires: MAIZAR.

De Rossi, R. L. & Guerra, F.A. (en prensa). Roya polisor. Enfermedades del cultivo de maíz - MAIZAR. Buenos Aires: MAIZAR.

De Rossi, R. L.; Giménez Pecci, M. P.; Guerra, F. A.; Plazas, M. C.; Brucher, E.; Guerra, G. D.; Torrico, A. K.; Camiletti, B. X.; Maurino, M. F.; Barontini, J.; Ferrer, M.; Lucini, E. & Laguna, I. G. **2017.** Enfermedades del maíz de siembra tardía causadas por hongos. El mismo maíz, un nuevo desafío: Compendio I Congreso de Maíz Tardío. Ed. Borrás, L. & Uhart, S. Bs. As., San Isidro: Dow Agrosciences, p. 107 - 125. ISBN: 978-987-98384-3-3.

Giménez Pecci, M. P.; **De Rossi, R. L.;** Maurino, M. F.; Barontini, J.; Druetta, M.; Torrico, A. K.; Ferrer, M.; Oleszczuc, D.; Plazas, M. C.; Guerra, F. A.; Brucher, E.; Guerra, G. D. & Laguna I. G. **2017.** Enfermedades del maíz de siembra tardía causadas por virus, mollicutes y bacterias. El mismo maíz, un nuevo desafío: Compendio I Congreso de Maíz Tardío. Ed. Borrás, L. & Uhart, S. San Isidro: Dow Agrosciences. p126 - 143. ISBN: 978-987-98384-3-3

c) Publicaciones de divulgación

Couretot L., Parisi L., Magnone G., **De Rossi, R.L.**; Guerra, F.A.; Vuletic, E.; Plazas, M.C.; Brücher, E. & Guerra, G.D. **2016**. Enfermedades del maíz en las últimas cinco campañas. INTA ediciones: Maíz, actualización 2015. Informe de Actualización Técnica en línea N°5. Pag. 46. INTA EEA Marcos Juárez. Julio, 2016. ISSN 2469-2040.

De Rossi, R. L.; Guerra, F. A.; Plazas, M. C.; Vuletic, E.; Brücher, E.; Guerra, G.; Couretot, L.; Parisi, L. & Magnone, G. **2016**. Enfermedades del maíz. Actas XXIV Congreso Aapresid "Resiliar". Rosario, Argentina.

De Rossi, R.L.; Guerra, F.A.; Plazas, M.C.; Sayago, P.; Guerra, G.D. & Gregoret, M.C. **2014**. Comportamiento sanitario de híbridos de maíz en el centro norte de Córdoba. Horizonte A, 10(54):24-30. Ed. Facultad Agronomía - UBA. ISSN 1668-3072.

De Rossi, R.L. **2014**. Enfermedades del maíz: ¿Manejo químico, genético, integrado? ¿Qué cambió en estos últimos años? INTA ediciones: MAIZ, actualización 2014. Informe de Actualización Técnica N° 31. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Pag. 29, ISSN: 1851-9245.

De Rossi, R.L. **2014**. Enfermedades del maíz. X Encuentro Nacional de Monitoreo y Control. Vol. 10, Pag. 54. Córdoba, Argentina.

De Rossi, R.L.; Guerra, F.A.; Plazas, M.C.; Sayago, P.; Guerra, G.D. & Gregoret, C. **2014**. Comportamiento sanitario de híbridos de maíz en el centro norte de Córdoba, ciclo agrícola 2013/14. Revista CREA RJ. Actualización Técnica. Pag. 46, ISSN: 0325-9846.

d) Presentaciones en congresos

De Rossi, R. L.; Guerra, F. A.; Brucher, E.; Plazas, M. C. & Guerra, G. D. **2019**. Tizón común del maíz (*Exserohilum turcicum*): Epidemiología y manejo. Compendio Jornadas Nacionales de Enfermedades de Cultivos Extensivos. Universidad Nacional de Rosario, Zavalla, Argentina.

De Rossi, R. L.; Guerra, F. A.; Vuletic, E.; Brucher, E.; Plazas, M. C.; Larrosa, F. & Guerra, G. D. **2017**. Desarrollo de *Exserohilum turcicum* en cinco híbridos de distinta susceptibilidad sembrados en fechas tardías en seis localidades de la provincia de Córdoba. IV° Congreso Argentino de Fitopatología, Mendoza, Argentina. Actas resúmenes.

De Rossi, R. L. **2017**. Situación fitosanitaria del cultivo de maíz en Argentina. IV° Congreso Argentino de Fitopatología, Mendoza, Argentina.

De Rossi, R. L.; Guerra, F.; Plazas, M.C.; Brucher, E.; Vuletic, E.; Guerra, G.; Luppi, G.; Palazzolo, A. **2016**. Desarrollo de un sistema de previsión para el tizón común del maíz. Primer Congreso de Maíz Tardío. Septiembre 2016 - Rincón de Pilar-Buenos Aires.

De Rossi, R.L. 2014. La sanidad del maíz en los nuevos escenarios productivos. Actas X Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Rosario.

Guerra, F.A.; **De Rossi, R.L.**; Plazas, M.C.; Guerra, G.D. **2014**. Control de tizón del maíz (*Exserohilum turcicum*) en diferentes escenarios. Actas X Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Rosario.